

Janne Tähkäpää

# Tuotantotestauslaitteiston kunnossapitosuunnitelma

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkötekniikan koulutusohjelma

Insinööriytyö

14.5.2018

<p>Tekijä Otsikko</p> <p>Sivumäärä Aika</p>	<p>Janne Tähkäpää Testauslaitteiston huoltosuunnitelma</p> <p>41 sivua + 2 liitettä 14.5.2018</p>
<p>Tutkinto</p>	<p>Insinööri (AMK)</p>
<p>Tutkinto-ohjelma</p>	<p>Sähkötekniikan koulutusohjelma</p>
<p>Ammatillinen pääaine</p>	<p>Sähkötekniikka</p>
<p>Ohjaajat</p>	<p>Lehtori Jukka Karppinen Valmistuspäällikkö Mihkel Must</p>
<p>Tämä insinööryö käsittelee ABB Oy, System Drives taajuusmuuttajamoduulien tuotanto-testauslaitteistojen luotettavuuden parantamista sekä huollon ja ylläpidon kehittämistä. Paremmän ja suunnitelmallisemman kunnossapidon päämääränä on parantaa testauslaitteistojen luotettavuutta, vähentää vikaantumisia testauslaitteistoissa sekä lyhentää suunnittelemattomien käyttökatkoksien kestoa. Teoriaosuudessa perehdytään vikaantumisien syihin, kunnossapidon periaatteisiin sekä sen keskeisiin menetelmiin ja käsitteisiin.</p> <p>Insinööryö toteutettiin keräämällä tietoa testauslaitteistoista ja niiden vikahistoriasta. Tiedon perusteella testauslaitteistoille luotiin huolto-ohjelmat sekä määritettiin periaatteet ehkäisevän kunnossapidon toteuttamiselle. Testauslaitteistoissa tarvittavat varaosat listattiin varaosavaraston luomiseksi ja käyttökatkoksien lyhentämiseksi. Insinööryöhön kuului keskeisesti vika- ja vaikutusanalyysien tekeminen testauslaitteistoista sekä oirehtivien vikojen juurisyiden selvittäminen vika- ja testausdatan perusteella. Vika- ja vaikutusanalyysin perusteella voitiin selvittää huolto-ohjelmaa varten kriittisimmät komponentit, joihin huoltoa ja tarkastuksia haluttiin erityisesti kohdentaa.</p>	
<p>Avainsanat</p>	<p>kunnossapito, kunnossapitosuunnitelma, taajuusmuuttaja, testaus</p>

Author Title	Janne Tähtkäpää Maintenance Plan for Test Equipment
Number of Pages Date	41 pages + 2 appendices 14 May 2018
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical Engineering
Professional Major	Electrical Power Engineering
Instructors	Jukka Karppinen, Senior Lecturer Mihkel Must, Production Line Manager
<p>This Bachelor's study focused on developing maintenance and improving the reliability of ABB Oy, System Drives production testing equipment for drive modules. The goal of the better and more planned maintenance is to increase the reliability of testing equipment, reduce failures in test equipment, and shorten the duration of unplanned outages. The theory part of the Bachelor's thesis focuses on general causes of failures, the principles of maintenance and the main methods and concepts of maintenance.</p> <p>The Bachelor's study was made by collecting information from test equipment by various methods. Based on the information, maintenance programs were created for testing equipment and principles for preventive maintenance were defined. The spare parts required for the testing equipment were listed to create a local spare part warehouse and to shorten operating outages. The key part in the study was to make a Failure Mode and Effect Analysis for test equipment and to determine the root causes of the latent faults based on fault and test data. Based on the Failure Mode and Effect Analysis, the most critical components of the maintenance program could be identified and their maintenance and inspections were particularly targeted.</p>	
Keywords	maintenance, maintenance plan, drive, testing

# Sisällys

## Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Taajuusmuuttaja	3
2.1	Taajuusmuuttajan toimintaperiaate	3
2.2	System Modules-tuotantotestaus	5
3	Huollon nykytilanne	8
4	Lainsäädäntö, määräykset ja ohjeet	10
5	Vika- ja vaikutusanalyysi	11
6	Termit ja käsitteet	12
6.1	Kunnossapidon standardit	12
6.2	Kunnossapidon terminologia	13
7	Kunnossapito teollisuudessa	18
7.1	Kunnossapidon tarkoitus	18
7.2	Kunnossapitolajit	19
7.3	Kunnossapidon osa-alueet	20
8	Vikaantuminen	23
8.1	Vikaantuminen ja aika	23
8.2	Vikaantumisen syyt	26
8.3	Piilevät ja oireilevat viat	27
8.4	Vaatimukset häiriöttömään toimintaan	27
9	Kunnossapitostrategian luominen	31
10	Työn toteutus	32
10.1	Vika- ja vaikutusanalyysi	33
10.2	Vikahistorian analysoiminen	34
10.3	HiPot-testilaitteiston verifiointi	35
11	Tulokset	37

12	Yhteenveto	39
	Lähteet	41
	Liitteet	
	Liite 1. HiPot-testauslaitteiston huoltokohteet	
	Liite 2. Burn-in-testauslaitteiston huoltokohteet	

## Lyhenteet

CSA	Canadian Standards Association. Kanadalainen standardisoimisjärjestö.
DC	Direct Current. Tasavirta.
FMEA	Failure mode and effects analysis. Vika- ja vaikutusanalyysi.
FMECA	Failure mode, effects, and criticality analysis, eli Vika-, vaikutus- ja kriittisyysanalyysi.
IGBT	Insulated-Gate Bipolar Transistor. Jänniteohjattu bipolaaritransistori.
KTM	Kauppa- ja teollisuusministeriö.
MTO	Make to Order. Tuote valmistetaan asiakkaan tilauksen pohjalta.
PLC	Programmable logic controller. Ohjelmoitava logiikka.
PSK	PSK Standardisointintyhdistys Ry.
RCM	Reliability centered maintenance. Luotettavuuskeskeinen kunnossapito.
RPN	Risk Priority Number.
RTF	Run to Failure. Huoltotoimenpiteet käynnistetään vikaantumisen jälkeen.
TPM	Total productive maintenance. Kokonaisvaltainen tuottava kunnossapito.

## 1 Johdanto

Insinööriyö käsittelee ABB Oy:n, System Drives -liiketoimintayksikön taajuusmuuttajamoduulien tuotantotestauslaitteistojen luotettavuuden parantamista sekä huollon ja ylläpidon kehittämistä. Paremman ja suunnitelmallisemman kunnossapidon päämääränä on parantaa testauslaitteistojen luotettavuutta, vähentää vikaantumisia testauslaitteistoissa sekä lyhentää suunnittelemattomien käyttökatkokkien kestoja.

Insinööriyön tavoitteena on kehittää huolto- ja kunnossapitosuunnitelma taajuusmuuttajamoduulien tuotantotestauksessa käytettäviä testauslaitteistoja varten sekä parantaa tuotantotestauksen luotettavuutta. Opinnäytetyö rajataan käsittämään yhden taajuusmuuttajamoduulintyyppin tuotantotestauksessa käytettävät testauslaitteistot. Työn tarkastelualueeseen ei kuulu testauslaitteistoja syöttävät kaapelit ja sähkökeskus eikä hätäseis-piirit tai muut alueen infrastruktuuri kuuluvat osat. Insinööriyössä perehdytään siihen kuinka ennakkohuollolla sekä ennakoivalla kunnossapidolla voitaisiin edistää tuotantotestauksen häiriöttömyyttä ja laatua sekä minkälaisia vaiheita kunnossapitostrategian luomiseen kuuluu. Tarkoituksena on selvittää eri huoltokohteiden komponenteille taloudellinen ja järkevä kunnossapitostrategia, huolto- tai vaihtoväli sekä menetelmiä eri komponenttien kunnan mittaamiseksi.

Osana insinööriyötä määritellään myös testauslaitteistojen ylläpidossa tarvittavan varaosavaraston sisältö, suuruus ja hankintakanavat ylläpidon, huoltojen ja vikakorjauksien nopeuttamiseksi ja helpottamiseksi. Tällä hetkellä varaosavarastoa ei ole määritelty ja varaosat hankitaan tarpeen mukaan.

Kunnossapitosuunnitelman laatimista varten työssä perehdyttiin testauslaitteistojen nykytilanteeseen vika- ja vaikutusanalyysin avulla sekä tarkastelemalla testauslaitteistojen vikahistoriaa ja testauslaitteistojen mittadataa. Tietojen perusteella ylläpito- ja huoltotoimenpiteitä sekä uudelleensuunnittelua voidaan kohdentaa toiminnan kannalta tärkeisiin kohteisiin sekä komponentteihin. Tiedon perusteella voidaan myös myöhemmin arvioida kunnossapitoon käytetyn panostuksen hyötyjä.

Insinööriyössä luotu kunnossapitosuunnitelma sekä sen myötä kerätyt tiedot toimivat pohjana myös muiden testilaitteistojen kunnossapidon parantamisessa.

ABB on automaatiotekniikan ja sähkövoimatekniikan alueelle keskittynyt ruotsalais—sveitsiläinen teollisuuskonserni, jonka pääkonttori on Zürichissä, Sveitsissä. Tällä hetkellä ABB toimii yli 100 maassa ja sillä oli henkilökuntaa joulukuussa 2017 noin 134 800 [1]. Suomen ABB työllistää noin 5300 henkilöä 22 paikkakunnalla. ABB:llä on suuret tehdaskeskittymät Helsingin Pitäjänmäellä ja Vuosaarella, Porvoossa, Haminassa sekä Vaasassa. Suomessa ABB:n taajuusmuuttajien valmistus on keskittynyt Helsingin Pitäjänmäelle. [2.] ABB:n toiminnan taustalla on vahvat paikalliset juuret, joita Suomessa edustaa Strömberg. Suomessa ABB on toiminut vuodesta 1988 lähtien vuonna 1889 perustetun Strömbergin jalanjäljissä. [3.]

ABB:n liiketoiminta on organisoitu divisioonittain ja nämä divisioonat koostuvat eri teollisuuden aloihin ja tuoteryhmiin keskittyvistä liiketoimintayksiköistä. Drives on osa Robotics And Motion divisioonaa ja vastaa ABB:n taajuusmuuttajien tuotekehityksestä ja valmistuksesta. Maailmanlaajuisesti ABB:n taajuusmuuttajatoiminnot työllistävät 6000 henkilöä yli 80 maassa. Pitäjänmäen tehtaalla työskentelee noin 1300 henkilöä.

Drives jakautuu neljään Product group:iin, jotka ovat System Drives, Drives Products, Drives Service ja Traction. System Drives vastaa sovellussuunniteltujen pienjännitteellä toimivien taajuusmuuttajakäyttöjen sekä keskijännitteikäyttöjen suunnittelusta ja valmistuksesta. System Modules kuuluu PG System Drivesiin ja valmistaa pienjännitteellä toimivia taajuusmuuttajamoduuleja. Kuvassa 1 on esitetty ACS880-104 R8i moduuli, jonka tuotantotestauksen kehittämiseen tämä insinööritoiminta keskittyy.





Kuva 1. ACS880 R8i taajuusmuuttajamoduuli.

## 2 Taajuusmuuttaja

### 2.1 Taajuusmuuttajan toimintaperiaate

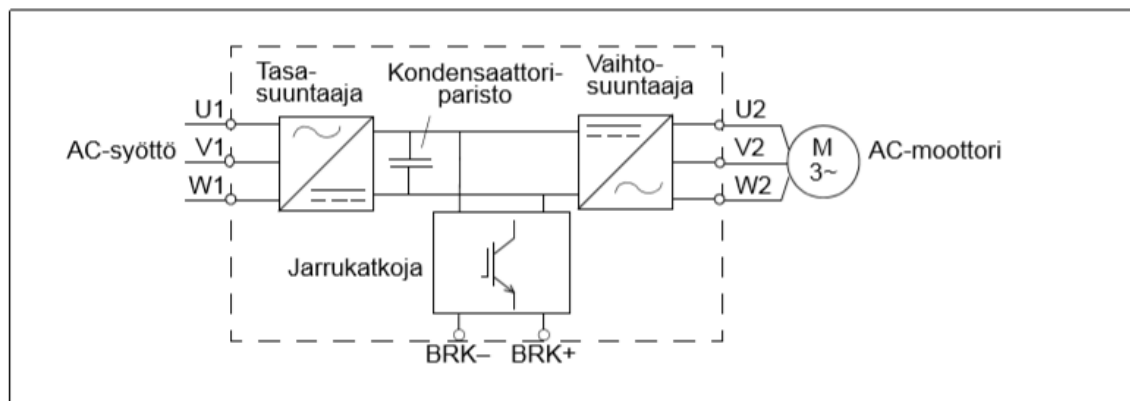
Taajuusmuuttajan tarkoituksena on mahdollistaa tuloon syötettävän vaihtojännitteen taajuuden ja amplitudin muokkaaminen sekä muokatun vaihtojännitteen syöttäminen taajuusmuuttajan lähtöliittimiin. Tavallisesti taajuusmuuttaja kytketään syöttävän sähköverkon ja sähkömoottorin väliin, jolloin sillä voidaan ohjata sähkömoottorin pyörimisnopeutta sekä momenttia.

Taajuusmuuttajan avulla sähkömoottorin pyörimisnopeutta voidaan suoraan säätää prosessin tarpeiden mukaan, minkä vuoksi ylimääräistä energiaa ei kuluteta vaihteistoissa tai muissa mekaanisissa prosessinsäätömenetelmissä. Erityisesti neliöllisen momentin omaavissa sovelluksissa, kuten pumpeissa ja puhaltimissa energiansäästöpotentiaalia on paljon, koska moottorin tehon tarve pienenee suhteessa nopeuden kolmanteen potenssiin.

Sähkömoottorit ovat suurin yksittäinen sähköenergian käyttökohde maailmassa, ja ne kuluttavat energiaa yli kaksi kertaa enemmän kuin valaistus, joka on seuraavaksi suurin yksittäinen energian käyttökohde. Arvion mukaan sähkömoottorit kuluttavat 43–46 % maailman energiantarpeesta. Suurin osa moottoreiden sähkönkulutuksesta aiheutuu keskikokoisista oikosulkumoottoreista, joiden lähtöteho on 0,75 kW–375 kW. [4, s. 11.]

Sovellusta, jossa teho virtaa taajuusmuuttajasta prosessiin, kutsutaan yhden kvadrantin sovellukseksi. Tällaisen sovelluksen käyttökohteita ovat normaalisti puhaltimet, pumput, kuljettimet sekä puristimet. Taajuusmuuttajaa, jossa on nelikvadranttinen verkkosilta, kutsutaan verkkosuuntaajaksi. Verkkosuuntaajan avulla tehoa voidaan siirtää myös sähkögeneraattorista syöttävään sähköverkkoon. Tätä voidaan hyödyntää sovelluksissa, joissa tehon suunta voi vapaasti vaihdella. Tällaisia sovelluksia ovat esimerkiksi hissit, vinssit ja nosturit. [5, s. 5.]

Kuvassa 2 on esitetty taajuusmuuttajan yksinkertaistettu pääpiirikaavio. Kolmivaiheinen vaihtojännite muunnetaan tasajännitteeksi tasasuuntaajassa. Välipiirin kondensaattoriparistoa käytetään energiavarastona ja vakauttamaan tasajännitevälipiirin jännitteen. Vaihtosuuntaaja muuntaa välipiirin tasajännitteen takaisin vaihtojännitteeksi AC-moottoria varten. Taajuusmuuttaja voidaan varustaa jarrukatkojalla, joka kytkee ulkoisen jarruvastuksen tasajännitevälipiiriin, kun piirin jännite ylittää sille sallitun rajan. Tätä voidaan hyödyntää moottorin sähköisessä jarrutuksessa.



Kuva 2. Taajuusmuuttajan toimintaperiaate [6, s. 19].

## 2.2 System Modules-tuotantotestaus

Taajuusmuuttajamoduulien tuotantotestaus suoritetaan automaattitestauslaitteistoilla, jotka suorittavat tuotteelle automaattisesti, testispesifikaatioissa määritetyn, tuotetyyppi-kohtaisen tuotantotestauksen. Testi käynnistyy moduulin tunnistamisen jälkeen, joka tehdään viivakoodinlukijalla moduuliin tuotantolinjalla asennetusta tyyppikilvestä.

Tuotantotestauksen tarkoituksena on havaita valmistetun tuotteen mahdolliset mekaaniset tai sähköiset asennusvirheet sekä varmistua tuotteessa käytettyjen komponenttien kuten eristeiden, piirikorttien, IGBT:n (Insulated-Gate Bipolar Transistor) ja elektrolyyttikondensaattoreiden kestävyydestä ja vaatimuksenmukaisesta toiminnasta. Jokainen taajuusmuuttajamoduuli käy läpi kyseiselle tuotteelle testauspesifikaatioissa määritellyn testikokonaisuuden ennen asiakkaalle toimittamista.

Ennen tuotteen testaamista sähköisesti automaattitestilaitteistolla jokaiselle tuotteelle tehdään visuaalinen tarkastus. Tarkastuksessa käydään läpi tuotteen vaatimuksenmukaisuus siltä osin kuin se on rakenteita avaamatta mahdollista tehdä. Visuaalisessa tarkastuksessa varmistetaan, että tuote täyttää ulkoisesti sille asetetut laatuvaatimukset ja että siihen on asennettu tilauksen mukaiset optiot. Optiot ovat tuotteeseen asennettuja lisävarusteita tai vakiotuotteesta poikkeavia toiminnallisuuksia ja ne on lueteltu taajuusmuuttajamoduulin tyyppikoodissa. Tässä työssä käsiteltyjen taajuusmuuttajamoduulien tuotantotapa on MTO (Make to Order) eli tuotteet valmistetaan asiakkaan tilauksen pohjalta.

Visuaalisen tarkastuksen jälkeinen tuotantotestaus suoritetaan kahdessa vaiheessa, kahdella erillisellä automaattitestauslaitteistolla. Ensimmäisessä testausvaiheessa käytettävää laitteistoa kutsutaan HiPot-testauslaitteistoksi. Kyseinen nimi (HiPot, high potential) on muodostunut käyttöön testauslaitteistolla tehtävän korkeajännitteisen eristeiden testaamiseen mukaan vaikka kyseinen testauslaitteistokokonaisuus suorittaa myös muita toiminnallisia testauksia. Jatkossa tässä insinööriyössä HiPot-testauslaitteistolla tarkoitetaan nimenomaan testauslaitteistokokonaisuutta, jolla suoritetaan kaikki ennen Burn-in -testausta tehtävät toiminnalliset testaukset.

HiPot-testi sisältää tuotteen sähköisen eristyksen testaamisen sekä useita eri toiminnallisia testejä riippuen testattavan tuotteen mallista. Yhden taajuusmuuttajamoduulin HiPot-testi kestää 20–25 minuuttia riippuen testattavan tuotteen ominaisuuksista ja siihen asennetuista optioista.

HiPot-testaus noudattaa jokaiselle moduulityypille erikseen määriteltyä testisekvenssiä, joka on periaatteessa sarja allekkaisia komentoja. Yksi komento, joka on samalla yksi testisekvenssin rivi, voi esimerkiksi antaa kontaktorille ohjauskäskyn, kirjoittaa arvon taajuusmuuttajan parametriin tai lukea mitta-arvon moduulilta tai testilaitteiston mittalaitteelta.

Testisekvenssi on selvyuden vuoksi jaettu testiosioihin niiden tarkoituksen mukaan. Oma yksittäinen testiosionsa on esimerkiksi pääpiirin eristysvastuskoe kuten myös pääpiirin jännitekoe. Jakamalla testisekvenssi tarkoituksen mukaisiin osioihin, testin etenemistä on helpompi seurata sekä häiriötilanteissa selvittää vikaantumiseen johtaneita syitä.

Ensimmäisessä vaiheessa testattavan tuotteen päävirtapiirille tehdään eristysvastuskoe, jossa varmistetaan tuotteen eristeiden kunnosta ja oikeanlaisesta asennuksesta. Eristysvastusarvon täytyy olla testaukselle määritetyn spesifikaation rajoissa. Koestusjännitetasot 1000 VDC ja 500 VDC noudattavat standardia IEC EN50178:1997. Standardia EN50178:1997 tiukemmat läpäisykriteerit tuotteen eristysvastukselle tulevat standardista IEC60092-504:2001 (Electrical installation in ships).

Käytännössä tuotteen eristysvastus- ja vuotovirta-arvot ovat merkittävästi standardin vaatimuksia parempia ja tuotannossa käytettävät kontrollirajat ovat asetettu tiukemmiksi kuin standardin vaatimat arvot ovat.

Eristysvastuskokeen jälkeen päävirtapiirille tehdään jännitekoe, jonka tarkoituksena on varmistua eristeiden kestävydestä. Jännitekokeen vaatimukset on määritelty standardeissa CSA C22 2 No 14-05 (Industrial Control Equipment) sekä UL508C (Standard for Power Conversion Equipment), jonka mukaan jännitekoe täytyy tehdä 1 sekunnin ajan, käyttäen 2,7 kV:n testausjännitettä. Testin aikana mitataan vuotovirtaa, jonka täytyy olla ennalta määrättyissä rajoissa.

Jännitekokeen jälkeen eritysvastustesti toistetaan voidakseen varmistua, että eristeiden lujuus ei ole heikentynyt merkittävästi jännitekokeen aikana. Ensimmäisen ja toisen eritysvastuskokeen tuloksen prosentuaalinen ero ei saa ylittää testispesifikaatiossa määritettyä arvoa.

HiPot-testauslaitteistossa tehtävän toiminnallisen testauksen jälkeen testin hyväksytysti läpäisseet tuotteet käyvät läpi tuotteen nimellisellä virralla tehtävän kuormitusajon. Kuormitusajo tehdään kahden samanlaisen taajuusmuuttajamoduulin rinnankytkentänä poikkeuksena pienimmät taajuusmuuttajamoduulimallit sekä moduulit, joita ei ole varustettu  $du/dt$ -suodattimella. Näiden moduulien kuormitusajo suoritetaan yhdelle moduulille kerrallaan, koska kyseiset moduulityypit eivät ole rakenteensa vuoksi tarkoitettu rinnankytkettäväksi.

Kuormitusajon aikana kuormana käytetään moottorin sijaan induktiivista kuristinkuormaa, joka on kustannustehokas ja luotettava tapa kuormittaa taajuusmuuttajaa. Kuormitusajon aikana tuote altistetaan vaihteleville lämpöolosuhteille, jonka tarkoituksena on löytää tuotteesta mahdolliset heikot komponentit sekä asennusvirheet, joita ei voida havaita visuaalisen tarkastuksen tai Hipot-testin aikana. Kuormitusajon aikainen suuri virta mahdollistaa myös taajuusmuuttajan sisäisen virranmittauksen tarkastamisen sekä taajuusmuuttajan sisäisen lämpötilojen tarkkailun ja vertailun rinnankytkettyjen taajuusmuuttajien välillä.

Rinnantestauksessa kaksi samanmallista taajuusmuuttajamoduulia kytketään testilaitteistoon rinnan yhteiseen DC-syöttöön ja kuormaan, jolloin taajuusmuuttajakäytön kokonaisvirta on kahden testattavan taajuusmuuttajan nimellisvirran summa ja se jakaantuu puoliksi rinnankytkettyjen taajuusmuuttajille kesken. Tämän testauskonseptin hyötynä on mahdollisuus vertailla keskenään kahden samassa pisteessä toimivan taajuusmuuttajamoduulin mitta-arvoja. Tuloksia vertailemalla voidaan tehdä luotettavasti päätelmiä tuotteen kokoonpanon sekä komponenttien laadusta. Tämä kuitenkin tarkoittaa, että itse testauslaitteiston pitää toimia luotettavasti ja pystyä toistamaan testiosiot samalla tavalla kerrasta toiseen aiheuttamatta ennakoimatonta vaihtelua testituloksiin.

Osa taajuusmuuttajamoduuleista ei ole tarkoitettu rinnankytkettäväksi myöskään asiakassovelluksissa. Näiden moduulien tapauksessa tuotantotestausta ei voida suorittaa rinnankytkettynä vaan moduuli kytketään testilaitteistoon yksin ja kuormaksi valitaan soveltuva kuristinmoduuli.

Kaikki taajuusmuuttajamoduulien tuotantotestauksessa käytetyt testauslaitteistot ovat räätälöityjä kyseistä tarkoitusta varten. Osa testauslaitteistoista on suunniteltu ja rakennettu ABB:n toimesta ja osa alihankintana.

Testauslaitteistoissa tietokone ohjaa PLC:n (Programmable logic controller) tai logiikkakortin välityksellä testin kulkua. Testauslaitteistoissa on testi- ja mittalaitteita, joilla voidaan suorittaa testiosioita ja varmistaa testattavan tuotteen omien mittauksien toiminta ja toisaalta valvoa, että testaus suoritetaan halutussa toimintapisteessä.

Yhden testisekvenssin aikana tehdään runsaasti mittauksia ulkoisilla mittalaitteilla ja testattavan tuotteen mittaamana. Mittaukset tallennetaan tietokantaan, josta ne on haettava tarvittaessa tuotteen sarjanumeron perusteella. Tietokannasta voidaan myös haakea mittatuloksia tilastollista tarkastelua varten.

Mittatuloksissa on normaalisti hallitsemattomista syistä johtuvaa hajontaa, joka täytyy ottaa huomioon testauksessa käytettyjen rajojen ja kriteerien määrittelyssä. Hajontaa aiheuttavat esimerkiksi vaihtelut sääolosuhteissa, kuten ilmankosteudessa ja lämpötilassa. Myös valmistuksessa käytettävissä komponenttien arvoissa on hieman sallituissa rajoissa olevaa vaihtelua. Testilaitteiston mittatuloksiin vaikuttavat osaltaan syöttävän sähköverkon jännitevaihtelut sekä ympäristön sähkömagneettisia häiriöt.

Testilaitteistojen hyväksyntärajojen asettelu on haasteellista. Ideaalisessa tilanteessa hyväksyntärajat voitaisiin asettaa niin, että kaikki tuotteesta johtuvat vikatapaukset havaitaan mutta turhia keskeytyksiä ei tapahdu. Osaltaan testilaitteistosta johtuvat häiriöt ja vaihtelut lisäävät rajojen asettamisen vaikeutta. Testilaitteiston normaalista käytöstä johtuva kuluminen osaltaan muuttaa mittaustuloksia. Eri komponentit ja eri testilaitteistot kuluvat eri tavalla, joten se pitäisi voida huomioida huolto- ja kunnossapitosuunnitelmaa laadittaessa.

### **3 Huollon nykytilanne**

Drivesin sisällä sähkölaitteiden huolto- ja ylläpito on organisoitu niin, että tuotanto-organisaatiot hoitavat tuotanto- ja testausvälineistön huollon ja ylläpidon sekä kiinteistön edustajat yleiset tehdasrakennukseen ja infrastruktuuri liittyvät huolto- ja ylläpitotyöt. Kokonaisvastuu sähkölaitteistojen turvallisuudesta on kaikilta osin sähkötoidenjohtajalla.

Osa huolloista hoidetaan kootusti yhteistyössä kiinteistön ja tuotanto-organisaatioiden kesken. Tuotanto-organisaation valvontavastuu alkaa yleisesti koestamoalueen sähkökeskukselta. Sähkölaitteistojen huoltoa johtaa ja valvoo sähkötöidenjohtaja mutta yksittäisien alueiden huoltojen seuranta on valtuutettu kyseisien alueiden käytöstävastaaville henkilöille. Käytöstävastaava henkilö suorittaa ja valvoo omalla vastuualueellaan sähkönsyöttöön ja sen turvalliseen käyttöön liittyviä seikkoja.

System Modules-koestamon testauslaitteistojen huollot toteutetaan käyttöhenkilöstön toimesta ja niiden toteutumista valvoo alueen käytöstävastaava henkilö, joka yleensä on myös kyseisen alueen esimies. Huolto-ohjelman mukaiset huollot on sovittu tehtäväksi jokaisen kuukauden ensimmäisenä maanantaina. Tällöin käyttöhenkilöstö käy omalla vastuualueellaan olevan testilaitteiston läpi huolto-ohjelman mukaisesti.

Tällä hetkellä testilaitteistojen huolto-ohjelmat on laadittu Excel-ohjelmalla, ja ne sisältävät muutaman kuukausittain tehtävän toimenpiteen, jotka liittyvät lähinnä testauslaitteistojen puhtaana pitämiseen. Huolto-ohjelma on paperisena versioina jokaisen testilaitteiston luona ja siihen merkataan jokaisen kuukauden kohdalle, kun huolto on suoritettu. Paperinen huolto-ohjelma on visuaalinen ja antaa nopeasti yleiskuvan huoltojen toteutumisesta. Toisaalta paperisten huolto-ohjelmien arkistointi on työlästä eikä se tästä johtuen toteudu kunnolla.

Huoltojen yhteydessä vaihdettaviin komponentteihin kuuluvat tällä hetkellä lähinnä testattavan tuotteen ja testilaitteiston välisien virtaliitosten tekemisessä käytettävien pulttien ja muttereiden vaihtaminen. Myös ilmansuodattimia vaihdetaan huoltojen yhteydessä tarpeen mukaan.

Suurin osa komponenttien vaihdoista tehdään niiden vikaantuessa. Vikaantuneena vaihdetuista komponenteista ei pidetä kirjaa, joten kirjallista historiatietoa komponenttien vikaantumisesta ei ole saatavilla. Tässä insinööriyössä komponenttien vikaantumisien osalta joudutaankin pääosin turvautumaan kokemusperäiseen, muistinvaraiseen tietoon.

Koestamon alueella on käytössä useita rinnakkaisia testauslaitteistoja samojen tuotteiden testaamistarkoitukseen. Tämä mahdollistaa testilaitteistojen käyttökatkokset ilman tuotannon täydellistä keskeytymistä. Tämä on mahdollistanut huoltojen laiminlyömistä ja korjauksien tekemistä vasta, kun testilaitteisto on vikaantunut.

Koestamon alueella on pieni varaosavarasto testuslaitteistoissa käytettäville komponenteille. Varaosavarastoa ei kuitenkaan ole luotu järjestelmällisesti vaan se on muodostunut yleisimmin vikaantuvien komponenttien ympärille vuosien saatossa eikä varaosavaraston komponenteille ole määritetty listausta tai minimiä. Myöskään varaosien materiaalikodeja tai hankintakanavia ei ole määritetty. Näistä seikoista johtuen osia on saatavilla vaihtelevasti ja vikatilanteissa osia voidaankin joutua tilaamaan ABB:n ulkopuolelta, joka kasvattaa toimitusaikaa ja käyttökatkoksen pituutta.

Koestuslaitteistojen toimintavarmuutta voidaan mitaroida verkkoselaimessa toimivalla ohjelmistolla, joka kerää tietoa testien suorittamisesta testuslaitteistojen tietokannoista. Tämän tiedon perusteella ohjelma laskee FPY-arvon (First pass yield), joka kertoo ensimmäisellä kerralla testin läpäisseiden tuotteiden osuuden kokonaistuotannosta. Testuslaitteistojen FPY-arvon laskennassa tuloksesta vähennetään viallisesta tuotteesta johtuvat keskeytykset. Testilaitteiston FPY-arvo pitää sisällään vain testilaitteistosta johtuvien vikojen määrän.

#### **4 Lainsäädäntö, määräykset ja ohjeet**

Sähkölaitteistojen käyttöä koskevan Kauppa- ja teollisuusministeriön päätöksen 517/96 mukaan sähkölaitteiston haltijan on huolehdittava siitä, että laitteiston kuntoa ja turvallisuutta tarkkaillaan ja että havaitut puutteet ja viat poistetaan riittävän nopeasti. Lisäksi kunnon valvonnan tulee olla riittävän säännöllistä. [7, s. 70.]

Luokkien 2 ja 3 sähkölaitteistoille on laadittava ennalta sähköturvallisuutta ylläpitävä kunnossapito-ohjelma. Sähkölaitteistoluokituksesta on säädetty sähköturvallisuuslain (1135/2016) 44. §:ssä. Luokan 2 sähkölaitteistoksi katsotaan sähkölaitteisto, johon kuuluu yli tuhannen voltin nimellisjännitteisiä osia, lukuun ottamatta sellaista sähkölaitteistoa, johon kuuluu vain enintään tuhannen voltin nimellisjännitteellä syötettyjä yli tuhannen voltin sähkölaitteita tai niihin verrattavia laitteistoja. Lisäksi luokkaan 2 kuuluu sähkölaitteisto, jonka liittymisteho, jolla tarkoitetaan sähkölaitteiston haltijan kiinteistölle tai yhtenäiselle kiinteistöryhmälle rakennettujen liittymien liittymistehojen summaa, on yli 1 600 kilovolttiampeeria. Luokkaan 3 kuuluu verkonhaltijan jakelu-, siirto- ja muu vastaava sähköverkko. [8.]



Kunnossapito-ohjelmaan sisällytetään laitteiston tyypistä riippuen esimerkiksi seuraavia asioita [7, s. 70]:

- Säännöllistä huoltoa ja testaamista vaativat laitteet, kuten lämpöreleet ja vikavirtasuojat ovat kunnossa ja testataan määrääjoin.
- Särkyneet, kuluneet, syöpyneet, lahonneet tai muuten vahingoittuneet osat vahvistetaan tai uusitaan.
- Vaaran torjumiseksi asennettu turvatoiminnallisuus, lukitsemislaite, suoja-puomi tai vaarallisuudesta varoitettava kilpi on jatkuvasti hyvässä kunnossa niin, että se täyttää tehtävänsä.
- Sähkölaite pidetään puhtaana helposti syttyvästä, johtavasta tai syövyttävästä aineesta siinä määrin kuin se on käytön kannalta mahdollista.
- Eristimet pidetään riittävän puhtaana pölystä ja muista aineista niin, ettei laitteiston eristystila olennaisesti huonone.
- Ylivirtasuojaus on suojattavan verkon ja käyttöolosuhteiden näkökulmasta kunnossa.
- Suoja- ja maadoitusjohtimet sekä niiden liitokset ovat hyvässä kunnossa ja maadoitusimpedanssi on riittävän pieni.
- Laitteiston tiivisteet ovat riittävän hyvässä kunnossa ja täyttävät tehtävänsä.
- Erityisesti siirrettävien sähkölaitteiden osalta on kiinnitettävä huomiota, että liitäntäjohto on hyvässä kunnossa ja turvallinen käyttää. [7, s. 70.]

## 5 Vika- ja vaikutusanalyysi

Vika- ja vaikutusanalyysi (englanniksi FMEA failure modes and effects analysis) kehitettiin virallisesti NASAn toimesta 1960-luvulla ilmailuteollisuuden työkaluksi, jolla tunnustetaan tunnetut ja mahdolliset vikatilanteet ja niiden syyt. FMEA:n päätarkoituksena on tunnistaa mahdolliset vikatilanteet, arvioida eri komponenttien vikatilanteiden syyt ja vaikutukset sekä määrittää, mikä voisi poistaa tai vähentää riskialttiiden vikojen mahdollisuutta. [9, s. 3–6.]

FMEA:n keskeinen osa on vikaantumismallien luokittelu perustuen tärkeysjärjestykseen, jotta resurssit ja toimenpiteet voidaan aluksi kohdistaa suurimman riskiarvion saaneelle kohteelle tai komponentille. Perinteisesti FMEA:n kriittisyys tai riskiarviointi suoritetaan riskiprioriteettiluvun (RPN) avulla, joka muodostuu laskennallisena tuloksena esiintymistodennäköisyyden, vakavuuden ja havaittavuuden perusteella. Mitä korkeampi vikamahdollisuuden RPN-arvo on, sitä suurempi riski sillä on järjestelmän luotettavuuden kannalta. Määrittämällä myös kriittisyys vikaantumistapojen vaikutusten merkittävyydelle,

FMEA voidaan laajentaa vika-, vaikutus- ja kriittisyysanalyysiksi. FMEA:n laajempi versio on nimeltään FMECA (Failure mode, effects, and critically analysis). [9, s. 3–6.]

Nykyään sekä FMEA että FMECA ovat laajalti käytettyjä ja tehokkaita työkaluja tuotteiden ja prosessien turvallisuuden ja luotettavuuden analysointiin monilla eri teollisuudenaloilla. FMEA:n on tarkoitus olla dynaaminen prosessia, tuotetta tai palvelua parantava dokumentti, joten korjaustoimenpiteiden jälkeen RPN-arvot tulee laskea uudestaan arvioida onko riskitaso laskenut ja mitkä ovat olleet korjaustoimien tehokkuudet kussakin vikatilanteessa.

## **6 Termit ja käsitteet**

Standardit ovat tärkeitä ja luovat yhteisen kielen, joihin viittaamalla kaikki osapuolet tietävät, mitä tarkoitetaan. Standardit myöskin elävät, niitä ylläpidetään ja tarvittaessa ne muuttuvat maailman mukana.

### **6.1 Kunnossapidon standardit**

Kunnossapidon osalta standardointi on melko nuorta, ja kunnossapito onkin ollut kautta historia tuotantolaitoskohtaista toimintaa, jota jokainen on tehnyt omalla tavallaan. Ensimmäinen kunnossapidon terminologiaa käsittelevä esitys oli Jalo Pirhosen tekemä avaus vuodelta 1990. Samana vuonna, hieman myöhemmin ilmestyi ensimmäinen merkittävä kansainvälinen standardi IEC 60050-191 International Electrotechnical Vocabulary, Chapter 191: Dependability and quality of service. Ennen tämän standardin julkaisua käytettiin kunnossapidossa yleisesti luotettavuuskäsitteisiin keskittyneitä standardeja kuten SFS 3750:1986 Luotettavuussanasto. [10, s. 2.]

Tänä päivänä kunnossapidon käsitteistöä käsitteleviä standardeja on useita. Euroopan kattavien standardien tunnus on EN, jotka kaikki eurooppalaisen standardoimisjärjestön (CEN) jäsenmaat ovat sitoutuneet vahvistamaan kansallisiksi standardeiksi. Suomessa kansallisiksi standardeiksi vahvistettujen eurooppalaisten standardien tunnus on SFS-EN. [10, s. 2.]

PSK Standardointi laatii Suomessa standardeja lähinnä prosessiteollisuuden tarpeisiin. PSK:n standardit ovat laadittu harmoniassa EN-standardien kanssa ja pyrkivät täydentämään niitä. [10, s. 2.]

Euroopan unioni laati oman kunnossapidon käsitestandardin EN 13306 vuonna 2001, sen versio tuli Suomessa voimaan vuonna 2010 versioina SFS-EN 13306. Standardi PSK 6201 Kunnossapito. Käsitteet ja määritelmät julkaistiin vuonna 2003 ja uusittiin vuonna 2011. Kyseiset standardit käsittelevät samaa aihetta mutta perustandardi SFS-EN 13306 on ylempänä arvojärjestyksessä, joten siksi tämän insinööriyön kannalta olennaisimpia käsitteitä on käyty läpi standardin SFS-EN 13306 näkökulmasta. [10, s. 3.]

## 6.2 Kunnossapidon terminologia

Standardi SFS-EN 13306:2010 sisältää erilaisia termejä laskentatavasta riippuen kaiken kaikkiaan yli 120 kappaletta. Verrattuna ensimmäiseen versioon (versio 2001), SFS-EN 13306:2010 pitää sisällään 25 kappaletta uusia termejä samalla, kun yhdeksän termiä on poistettu. Käsitteet ja sanamuotojen ymmärtäminen samalla tavalla on erityisen tärkeää laadittaessa kunnossapitosopimuksia.

### Perustermit

- Kunnossapito tarkoittaa kaikkia koneen elinjakson aikaisia teknisiä, hallinnollisia ja liikkeenjohdollisia toimenpiteitä, joiden tarkoituksena on ylläpitää tai palauttaa koneen toimintakyky sellaiseksi, että kone pystyy suorittamaan halutun toiminnon.
- Kunnossapitostrategia tarkoittaa liikkeenjohdollisia keinoja, joiden avulla saavutetaan kunnossapidon tavoitteet.
- Kunnossapitosuunnitelma on jäsenelty ja dokumentoitu kokoelma tehtävistä, sisältäen tehtävät, menetelmäkuvaukset, resurssit sekä aikataulun, joita tarvitaan kunnossapitoa tehtäessä.
- Vaadittu toiminto on kohteen toiminto, toimintojen yhdistelmä, tai toiminnallinen kokonaisuus, jotka ovat tarpeellisia vaaditun tehtävän suorittamiseksi.
- Käyttövarmuus tarkoittaa kykyä toimia vaadittaessa vaaditulla tavalla.
- Kohde voi olla mikä tahansa osa, komponentti, laite, osasysteemi, toiminnallinen yksikkö, välineistö tai järjestelmä, jota tarkastella erikseen.

[10, s. 4.]

## Kohteen ominaisuudet

- Käytettävyys on kohteen kyky olla tilassa, jossa se kykenee tarvittaessa suorittamaan vaaditun toiminnon tietyissä olosuhteissa olettaen, että vaadittavat ulkoiset resurssit ovat saatavilla.
- Toimintavarmuus on kohteen kyky suorittaa vaadittu toiminto määrätyissä olosuhteissa vaaditun ajanjakson.
- Luontainen toimintavarmuus on kohteen suunnittelussa ja valmistuksessa määräytynyt toimintavarmuus.
- Kunnossapidettävyys on kohteen kyky olla pidettävissä tilassa tai palautettavissa tilaan, jossa se pystyy suorittamaan vaaditun toiminnon määritellyissä käyttöolosuhteissa, jos kunnossapito suoritetaan määritellyissä olosuhteissa käyttäen vaadittuja menetelmiä ja resursseja.
- Luontainen kunnossapidettävyys määritellään kohteen alkuperäisessä suunnittelussa määräytyneeksi kunnossapidettävyydeksi.

[10, s. 5.]

## Vikaantumiset ja tapahtumat

- Vika on tila, jossa kohde ei kykene suorittamaan vaadittua toimintoa pois lukien ehkäisevän kunnossapidon, jonkin muun suunnitellun toimenpiteen tai ulkoisten resurssien puutteesta johtuvan toimintakyvyttömyyden takia.
- Vikaantuminen on tilanne, jossa kohteen kyky suorittaa vaadittu toiminto päättyy.
- Vikamuoto on tapa, jolla kohteen kykenemättömyys suorittaa vaadittua toimintaa ilmenee.
- Vikaantumiskriteerit ovat määritellyt raja-arvot kulumiselle, säröytymiselle, suorituskyvyn heikkenemiselle, vuodoille, päästöille, jne. joiden ylittyessä käytön jatkaminen todetaan epäturvalliseksi tai epätaloudelliseksi.

[10, s. 5.]

## Aikäsitteet

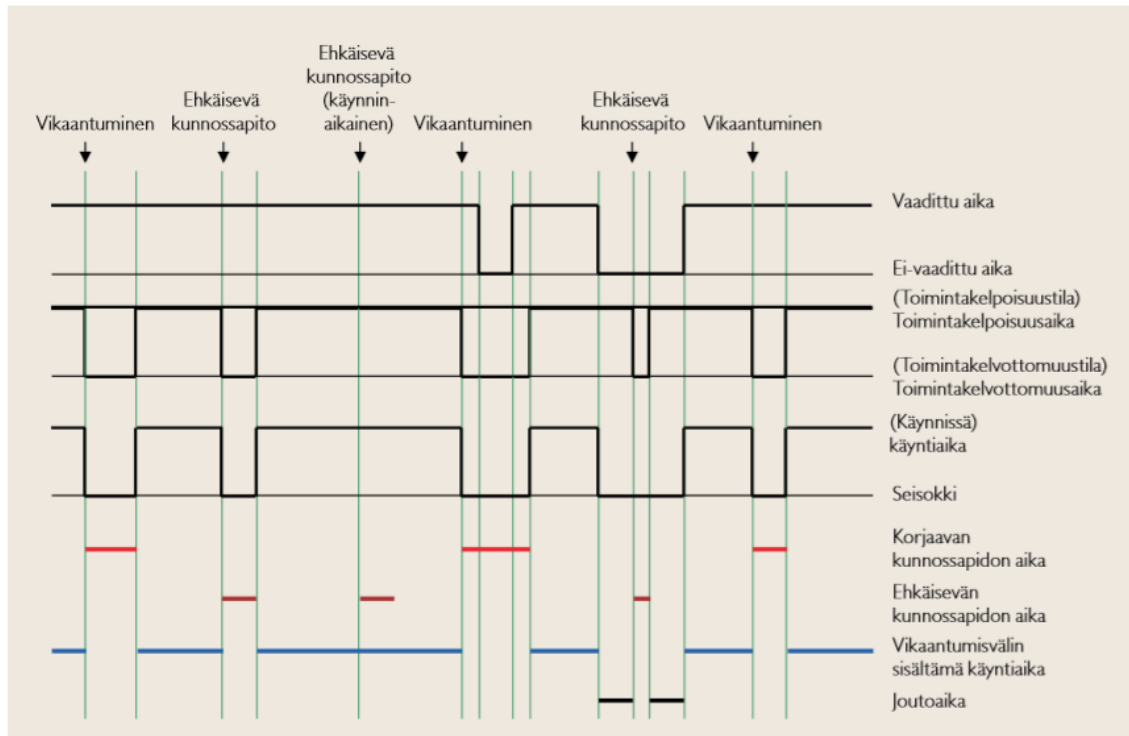
Aikäsitteet ovat luultavasti kunnossapidon käsitteistä kaiken tärkeimpiä, sillä niitä käytämällä voidaan tarkastella valmistusprosessin tehokkuutta ja kustannuksia. Tarkastelusta saadun tiedon perusteella kunnossapidon toimintoja voidaan ohjata sellaisiin kohteisiin, joissa niitä eniten tarvitaan ja joissa tuotanto-omaisuuden hoitoon sijoitettu panostus tuo parhaan tuoton. SFS-EN 13306 luettelee seuraavat käsitteet:

- Toimintakelpoisuusaika on aika, jolloin kohde on toimintakelpoisuustilassa.

- Toimintakelvottomuusaika tarkoittaa ajanjaksoa, jonka kohde on toimintakelvottomuustilassa.
- Käyntiaika tarkoittaa aikaa, jolloin kohde on käyntitilassa.
- Vaadittu aika on tarkoittaa ajanjaksoa, jonka kohteen vaaditaan olevan käyntitilassa.
- Valmiusaika on ajanjakso, jolloin kohde on valmiustilassa.
- Joutoaika tarkoittaa aikaa, jolloin kohde on toimintakelpoisuustilassa mutta ei käy eikä toimintaa myöskään vaadita.
- Kunnossapitoaika on ajanjakso, jolloin kunnossapitoa tehdään, mukaan lukien tekniset ja logistiset viiveet.
- Ehkäisevän kunnossapidon aika on ajanjakso, jolloin ehkäisevää kunnossapitoa tehdään, mukaan lukien logistiset viiveet.
- Korjaavan kunnossapidon aika on ajanjakso, jolloin kohteeseen tehdään korjaavaa kunnossapitoa, mukaan lukien logistiset viiveet.
- Logistinen viive on ajanjakso, pois lukien hallinnollinen viive, minkä aikana kunnossapitotoimenpidettä ei voida suorittaa johtuen tarpeesta hankkia kunnossapitoresursseja.
- Loppuunkulumisjakso tarkoittaa kohteen elinjakson loppuun sijoittuvaa vaihetta, jolloin korjauskelpoisten kohteiden hetkellinen vikataajuus tai korjauskelvottomien kohteiden hetkellinen vikataajuus ajan suhteen lisääntyy merkittävästi.
- Vakiovikataajuusjakso tarkoittaa kohteen elinjakson vaihetta, jolloin korjauskelpoisten kohteiden hetkellinen vikataajuus tai korjauskelvottomien kohteiden hetkellinen vikataajuus ajan suhteen pysyy suurin piirtein vakiona.
- Varhaisvikataajuusjakso tarkoittaa kohteen elinjakson alkuun sijoittuvaa vaihetta, jolloin korjauskelpoisten kohteiden hetkellinen vikatiheys, tai korjauskelvottomien kohteiden hetkellinen vikataajuus ajan suhteen on merkittävästi korkeampi kuin seuraavilla ajanjaksoilla.

[10, s. 7]

Kuvassa 3 on havainnollistettu kunnossapidon aikakäsitteistöä sekä niiden keskinäisiä riippuvuuksia.



Kuva 3. Oleellimmat aikakäsitteet (SFS-EN 13306:2010) [10, s. 6].

## Kunnossapitolajit

Kunnossapitolajit jaetaan SFS-EN 13306:2010 standardissa ehkäisevään ja korjaavaan kunnossapitoon. Taulukossa 1 on kuvattu standardin SFS-EN 13306 jaottelu eri kunnossapitolajeihin.

**Taulukko 1. Kunnossapitolajit SFS-EN 13306:2010 mukaan [10, s. 6].**

KUNNOSSAPITOLAJI	SELITYS
ehkäisevä kunnossapito <i>preventive maintenance</i>	määrätyin välein tai suunniteltujen kriteerien täytyessä suoritettu kunnossapito, jolla pienennetään vikaantumisen todennäköisyyttä tai kohteen toiminnan heikkenemistä
aksotettu kunnossapito <i>predetermined maintenance</i>	ehkäisevää kunnossapitoa, joka tehdään ennalta määritettyjen aikajaksojen tai käytön määrän mukaan, mutta ilman edeltävää toimintakunnon tutkimusta
kuntoon perustuva kunnossapito <i>condition based maintenance</i>	ehkäisevä kunnossapito, johon sisältyy kunnonvalvontaa ja/tai tarkastamista ja/tai testausta, tulosten analysointi sekä näiden ohjaama kunnossapito
ennakoiva kunnossapito <i>predictive maintenance</i>	kuntoon perustuvaa kunnossapitoa, jonka tehtävät perustuvat toistuviin analyyseihin tai tiedettyjen ilmiöiden pohjalta tehtyihin ennusteisiin, ja merkittäviin kohteen toiminta- <sup>2</sup> kunnon heikkenemistä kuvaaviin muuttujiin
korjaava kunnossapito <i>corrective maintenance</i>	kunnossapitoa, jota tehdään vian havaitsemisen jälkeen tavoitteena saattaa kohde tilaan, jossa se voi toteuttaa vaaditun toiminnon
siirretty korjaava kunnossapito <i>deferred corrective maintenance</i>	korjaavaa kunnossapitoa, jota ei suoriteta välittömästi vian havaitsemisen jälkeen, vaan sitä viivästetään annettujen ohjeiden mukaisesti
välitön korjaava kunnossapito <i>immediate corrective maintenance</i>	korjaavaa kunnossapitoa, joka suoritetaan heti vian havaitsemisen jälkeen, jotta välttäisiin kohtuuttomilta seurauksilta
aikataulutettu kunnossapito <i>scheduled maintenance</i>	kunnossapitoa, joka tehdään määritetyn aikataulun tai käytön määrän mukaan
etäkunnossapito <i>remote maintenance</i>	kohteen kunnossapito tehdään ilman, että henkilöstöllä on pääsyä kohteeseen
käynninaikainen kunnossapito <i>on-line maintenance</i>	kunnossapito tehdään kohteen käydessä ja ilman vaikutusta sen toimintaan
kenttäkunnossapito <i>on site maintenance</i>	kunnossapitoa, joka suoritetaan laitteen tavanomaisella sijaintipaikalla
käyttäjäkunnossapito <i>operator maintenance</i>	käyttöhenkilöstön suorittama kunnossapito
kunnossapidon taso <i>maintenance level</i>	kunnossapitotehtävien luokittelu monimutkaisuuden perusteella
kunnossapidon ulkoistaminen <i>maintenance outsourcing</i>	yrityksen kunnossapidon tai sen osan sopimus pohjainen hankinta ulkopuoliselta toimijalta määritellyksi ajaksi

## 7 Kunnossapito teollisuudessa

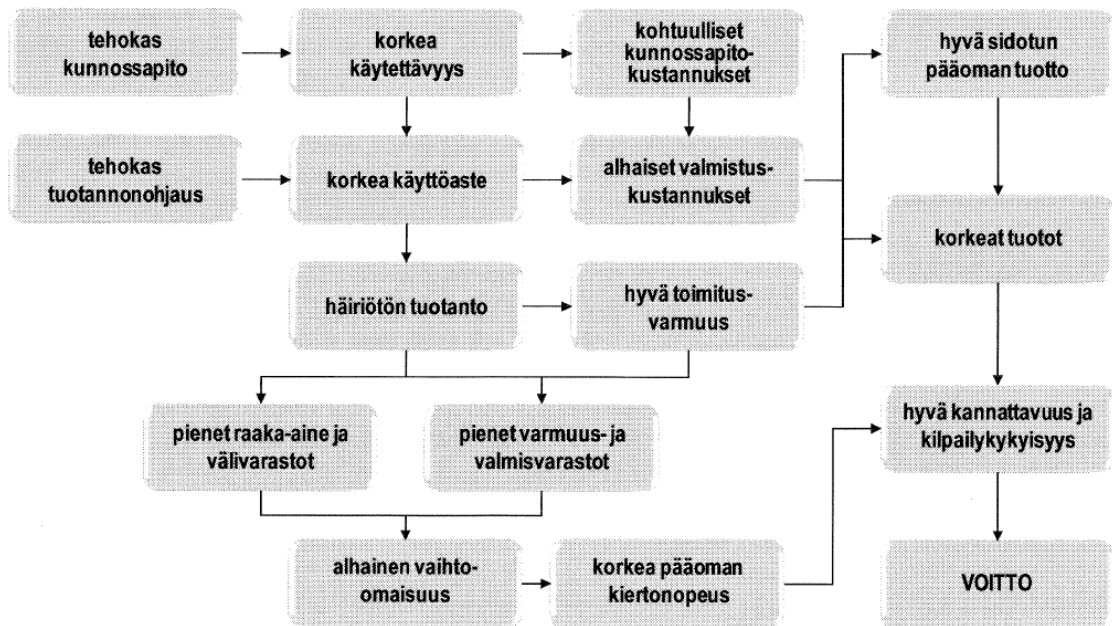
### 7.1 Kunnossapidon tarkoitus

Kunnossapitoa tarvitaan teollisuudessa varmistamaan prosessien häiriötön toiminta ja ehkäisemään tuotantolaitteistojen vikaantumista. Kunnossapito ei kuitenkaan rajoitu pelkästään teollisuuteen vaan kattaa muutkin elämän alueet, kuten ihmiset, joiden kunnossapitoa kutsutaan lääketieteeksi. Hyvin usein kunnossapito mielletään reagoivaksi toiminnaksi johon kuuluu, että vikaantuneet laitteet korjataan vikaantumisen jälkeen. Tämä onkin ollut hyvin perinteinen menetelmä tehdä kunnossapitoa. Koneiden monimutkaistuksessa ja tuotantovaatimuksien kasvaessa tämä ei kuitenkaan enää ole ollut riittävän hyvä ja kustannustehokastapa hoitaa kunnossapitoa. Kokonaisuuden kannalta on järkevämpää pyrkiä estämään vikaantuminen kokonaan. Tämä pätee hyvin myös lääketieteessä, jossa ihmisen sairastumisen estäminen on huomattavasti halvempaa ja ihmisen kannalta miellyttävämpää kuin sairaan ihmisen hoitaminen. [11, s. 11.]

Kunnossapito on yksi suurimmista yrityksen kustannuksista ja suurin yritysten kontrolloimaton kustannuserä [12, s. 27]. Koko Suomen kansantaloudessa kunnossapitoon panostetaan vuosittain noin 24 miljardia euroa, josta teollisuuden osuus on 3,5 miljardia euroa [12, s. 31].

Kunnossapidon vaikutus yrityksen tulokseen on kuitenkin välillinen ja sen vaikutusmekanismien tunteminen on tärkeää, että voidaan laskea kunnossapitopanostuksien synnyttämät tuotot. Kunnossapitokustannuksien vastapuolella on korkea käytettävyys sekä käyttöaste ja mahdollisesti investointitarpeiden pieneneminen. Kunnossapidolta odotetaan yrityksen hankkiman käyttöomaisuuden tuottokyvyn säilyttämistä ja ylläpitämistä. Kuvassa 4 on selvitetty kunnossapidon ja yrityksen voiton välistä vaikutusketjua.

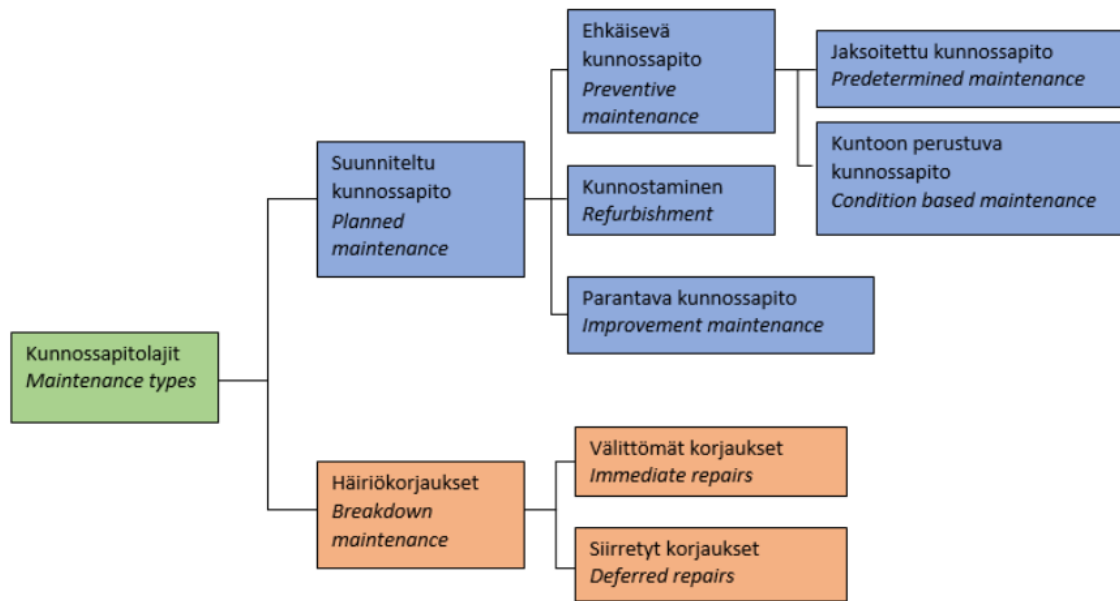




Kuva 4. Kunnossapidon vaikutusketju [11, s. 22].

## 7.2 Kunnossapitolajit

Kunnossapitotoimenpiteet voidaan karkeasti jakaa vian havaitsemisen perusteella ehkäisevään ja korjaavaan kunnossapitoon. Vika taas määritetty tilanteeksi, jossa kohde ei kykene suorittamaan vaadittua toimintoa. Ehkäisevän kunnossapidon piiriin kuuluu siis kaikki toimenpiteet, jotka tehdään ennen kuin vika pysäyttää laitteen toiminnan. Kunnossapitotoimenpiteiden jaottelu on edellytys tehokaan kunnossapitostrategian luomiselle. Kunnossapitolajien määrittely ja jaottelu eroaa hieman eri lähteissä. Kuvassa 5 on esitetty PSK Standardisoinnin jaottelu kunnossapitolajeille. [12, s. 46.]



Kuva 5. Kunnossapitolajit PSK 6201:2011 mukaan [12, s. 47].

Vikaantuminen voi olla myöskin valittu huoltostrategia mutta standardit eivät mainitse tätä käsitettä jaotellussa. RTF, Run To Failure tai OTF, Operate To Failure jätetään mainitsematta standardeissa, vaikka ne ovatkin hyvin usein käytettyjä ja käyttökelpoisia huoltostrategioita kohteissa, jotka ovat arvoltaan vähäisempien ja joiden vikaantuminen ei merkittävästi häiritse tuotantoa. RTF ja OTF tarkoittavat, että kohde ei ole ehkäisevän kunnossapidon piirissä ja se korjataan tai korvataan kohteen vikaannuttua. Tällaisia kohteita ovat usein esimerkiksi helposti luoksepäästävät lamput. [12, s. 48.]

### 7.3 Kunnossapidon osa-alueet

Kunnossapidon toimenpiteet voidaan jakaa viiteen päälajiin:

- huolto
- ehkäisevä kunnossapito
- korjaava kunnossapito
- parantava kunnossapito
- vikojen ja vikaantumisen selvittäminen [12, s. 49.]

## Huolto

PSK 6201 määrittelee ”huollon” seuraavalla tavalla: ”Jaksotetun kunnossapidon toimenpide, joka sisältää kohteen tarkastamisen, säädön, puhdistamisen, rasvauksen, öljynvaihdon, suodattimien vaihdon ja muut vastaavat toimenpiteet”. Huoltamalla pyritään pitämään yllä kohteen toimintakykyä ja estämään vaurioiden syntymistä sekä palauttamaan heikentynyt toimintakyky normaalille tasolle. Jaksotetun huolto tehdään ennalta määritetyin välein. Välit määräytyvät käyttöajan tai –määrän mukaan. Jaksotettuun huoltoon sisältyvät seuraavat toimenpiteet:

- toimintaedellytysten vaaliminen
- puhdistus
- voitelu
- huoltaminen
- kalibrointi
- kuluvien osien vaihtaminen toimintakyvyn palauttaminen. [12, s. 50.]

## Ehkäisevä kunnossapito

PSK 6201 määrittelee ”ehkäisevän kunnossapidon” seuraavalla tavalla: ”Ehkäisevällä kunnossapidolla pidetään yllä kohteen käyttöominaisuuksia, palautetaan heikentynyt toimintakyky ennen vian syntymistä tai estetään vaurion syntyminen”. Ehkäisevän kunnossapidon ja huollon toimenpiteet ja tehtävät ovat osittain päällekkäisiä. Ehkäisevä kunnossapito pyrkii vähentämään vikaantumisen todennäköisyyttä ja laitteen toimintakyvyn heikkenemistä ja auttaa laatimaan ja aikatauluttamaan kunnossapidon tehtäviä. Ennakoivan kunnossapidon toimintatapoihin kuuluvat tarkastaminen, toimintakunnon toteaminen ja mittaaminen sekä käynninvalvonta. Näiden tietojen perusteella voidaan laatia kuntoon perustuvia huoltosuunnitelmia. Kunnonvalvontaa voidaan tehdä eri menetelmin kuten aistein, mittaamalla tai analysoimalla laitteistosta saatavaa mittadataa. Näillä menetelmillä saadusta datasta etsitään merkkejä oireilevista vioista ja normaalista poikkeavasta toiminnasta. Osa kunnonvalvonnasta voidaan ja täytyy tehdä käytön aikana ja osa seisokkien aikana. [12, s. 50.]

## Korjaava kunnossapito

Korjaava kunnossapito suoritetaan yleensä vikaantumisen jälkeen ja sen tarkoituksena on palauttaa laitteen toimintakunto. Korjaavaa kunnossapitoa on myös suunniteltu kunnostus, jonka tarkoituksena on korvata vikaantuvaksi todettu komponentti tai osa. PSK 6201 määrittelee ”korjaavan kunnossapidon” seuraavalla tavalla: Korjaavaa kunnossapitoa on häiriökorjaus, kunnostaminen ja kuntoon perustuva suunniteltu korjaus”. Korjaavaan kunnossapitoon sisältyvät:

- vian määrittäminen
- vian tunnistaminen
- vian paikallistaminen
- korjaus
- toimintakunnon palauttaminen. [12, s. 51.]

## Parantava kunnossapito

Parantavan kunnossapidon menetelmillä voidaan parantaa laitteiden luotettavuutta ja käytettävyyttä sekä muuttaa vaikeasti kunnossapidettäviä kohteita paremmiksi. PSK 6201 määrittelee ”parantavan kunnossapidon” seuraavalla tavalla: ”Parantavan kunnossapidon tarkoituksena on parantaa kohteen luotettavuutta ja/tai kunnossapidettävyyttä muuttamatta kohteen toimintaa”. [12, s. 51–52.]

Parantava kunnossapito voidaan jakaa kolmeen pääryhmään kunnossapitoon liittyvien toimenpiteiden tarkoituksen mukaan. Ensimmäisessä ryhmässä kohdetta muutetaan käyttämällä uudempia osia kuin alkuperäiset muuttamatta kuitenkaan varsinaisesti kohteen suorituskykyä. Toisessa ryhmässä ovat muutokset joiden tarkoituksena on suorituskyvyn parantamisen sijaan parantaa laitteen toimintavarmuutta luotettavammaksi. Kolmannen ryhmän muodostavat modernisaatiot, joiden tarkoituksena on muuttaa kohteen suorituskykyä. Modernisaatiot ovat yleisiä tilanteissa, joissa tuotantolaitteiston elinkaari on pidempi kuin tuotteen elinkaari. Valmistettavan tuotteen vaihtuessa voi olla järkevää modernisoida tuotantolaitteisto uudelle tuotteelle uuden valmistamisen sijaan. [12, s. 51–52.]

## 8 Vikaantumisen

Kunnossapidon yksi tärkeimmistä osa-alueista on vikojen syntymekanismien ymmärtäminen, koska kunnossapidon tärkein tavoite on vikaantumisen estäminen eikä vikojen korjaaminen tehokkaasti. Viat eivät synny itsestään vaan vikatilanne on yleensä pitkän kehitysketjun viimeinen lenkki, ja mikäli vikaantumismekanismit tunnetaan riittävän hyvin, voidaan tilanteeseen puuttua riittävän ajoissa ja vaurioitumista vähentää merkittävästi. [11, s. 53.]

Standardi SFS-EN 13306:2010 määrittelee ”vian” seuraavalla tavalla: ”Vika on tila, jossa kohde ei kykene suorittamaan vaadittua toimintoa, pois lukien tilanne, jossa kohde on toimintakyvytön joko ehkäisevän kunnossapidon toimenpiteen, jonkin muun suunnitellun toimenpiteen tai ulkoisten resurssien puutteen takia”. Vaadittu toiminto tarkoittaa sitä, että joko koko toiminto puuttuu tai se ei ole määrällisesti tai laadullisesti ja/tai turvallisesti hyväksyttävä. [11, s. 71.]

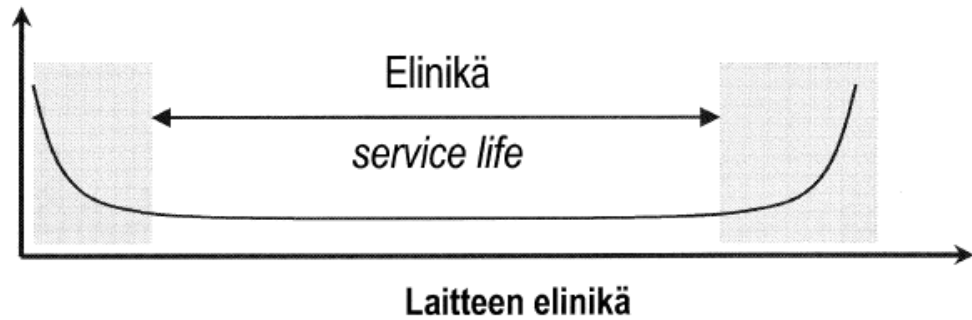
Standardeissa vikaantuminen ja siitä seuraava vika käsitetään nopeana tapahtumana, jonka seurauksena kohteen toiminta päättyy. Standardeissa ei ole käsitettä, joka ilmaisee hitaasti kehittyvää vikaantumista. Eri kunnossapitomenetelmät, kuten TPM (Total Productive Maintenance) ja RCM (Reliability-centered Maintenance), tunnistavat tämän käsitteen, ja kehittyvien vikojen havainnointi onkin niiden yksi tärkeimmistä toiminnoista. [12, s. 71.]

TPM käyttää käsitteitä krooninen vika, joka on yleensä piilevä mutta kuitenkin haittaa kohteen toimintaa sekä satunnaisvika, joka on yllättävä ja vaikutuksiltaan selvästi havaittava häiriötila. Vastaavassa tilanteessa RCM käyttää termiä potentiaalinen vikaantuminen. [12, s. 72.]

### 8.1 Vikaantuminen ja aika

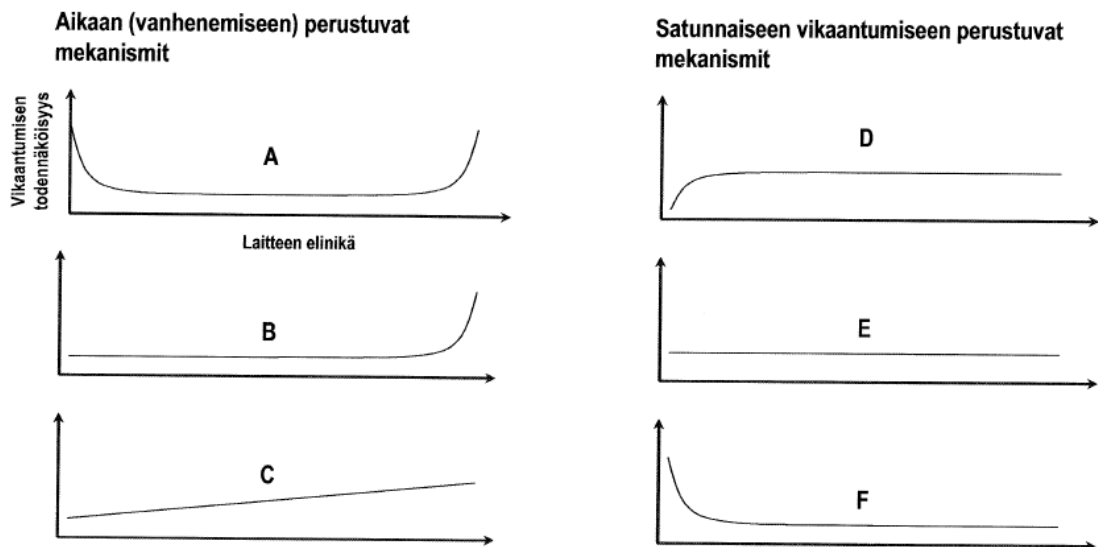
Kuvan 6 ”kylpyammekäyrä” on perinteinen näkemys vikaantumisesta sekä myös laitteen eliniästä. Laitteen elinkaaren alussa esiintyy ”uutuuden karheutta” ja sisäänajokauden jälkeen vikaantumisintensiteetti tasaantuu. Laitteen elinkaaren loppupäässä vastaavasti vikaantumiskäyrä kääntyy jyrkkään nousuun loppuunkulumisen seurauksena.

## Vikaantumis- todennäköisyys



Kuva 6. Kylpyammekäyrä [12, s. 80].

Kylpyammekäyrä kyseenalaistui, kun amerikkalaiset Nolan ja Heap suunnittelivat lentokoneiden huolto- ja tarkastusohjelmia 1960-luvulla ja vikaantumisia ei saatu hallintaan, vaikka 85 % lentokoneen osista vaihdettiin säännöllisesti. Tutkimuksissaan Nolan ja Heap löysivät kuusi toisistaan poikkeavaa vikaantumismallia, joista kolme perustui aikaan tai työjaksojen määrään ja kolme osoitti vikaantumisen olevan satunnaista. Kuvasssa 7 on esitetty Nolan ja Heapin vikaantumistutkimuksesta syntyneet kuusi erilaista vikaantumismallia. [11, s. 57.] Kyseisiä vikaantumismalleja käsitellään enemmän tuonempana.



Kuva 7. Nolan ja Heapin vikaantumismallit [12, s. 81].

### Aikaan pohjautuva vikaantuminen

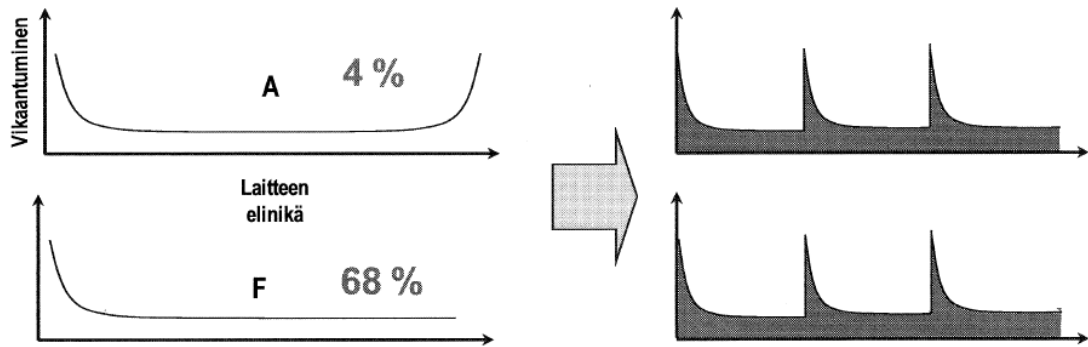
Kuvassa 7 esitetyistä vikaantumismalleista A, B ja C ovat aikaan ja vanhenemiseen perustuvia vikaantumismalleja. Malli A on perinteinen kylpyammekäyrä, jossa alun sisäänajokauden jälkeen viat vähenevät kunnes kääntyvät taas nousuun vanhenemisen seurauksena. Malli B on vastaava kuin malli A mutta ilman sisäänajokauden korkeampaa vikaantumista. Mallissa C taas vikaantuminen kasvaa tasaisesti ajan ja käytön myötä. Aikaan pohjautuvaa vikaantumista esiintyy yleisesti yksinkertaisilla komponenteilla ja laitteilla, jotka ovat suorassa kontaktissa tuotteiden ja materiaalien kanssa. [11, s. 58.]

### Satunnainen vikaantuminen

Satunnaista vikaantumista kuvassa 7 edustavat mallit D, E ja F. Mallissa D vikaantuminen on aivan alussa vähäistä mutta nousee pian tasolle, jossa se säilyy elinkaaren loppuun. Mallissa E vikaantuminen on samansuuruista koko elinkaaren ajan. Mallissa F on aluksi paljon sisäänajokauden vikoja mutta vikaantuminen tasaantuu vakiotasolle ja pysyy siinä koko elinkaaren ajan. Ruotsalainen SKF on tutkinut laakereiden vikaantumista ja todennut niiden vikaantumisen noudattavan mallia E, jossa vikaantuminen pysyy samalla tasolla koko elinkaaren ajan. Tutkimuksen mukaan syyt laakereiden vaurioitumiseen ovat seuraavat:

- 16 % asennusvirheet
- 36 % puutteellinen voitelu
- 14 % epäpuhtaudet
- 34 % muu syy (epätasapaino, irronnut osa, normaali väsyminen)

Nolan ja Heap totesivat tutkimuksissaan, että liika kunnossapito ei paranna laitteen luotettavuutta vaan sen sijaan altistaa vikaantumismekanismeille. Joka kerta, kun laite avataan, suljetaan tai korjataan vikaantumismalli A ja F alkaa alusta ja alun lastentaudit tulevat uudelleen esille. Nolan ja Heapin tutkimuksissa näin tapahtui jopa 72 %:ssa tapauksissa. Kunnossapitäjän vanha ohje näyttääkin pitävän paikkaansa myös tutkimusten valossa: ”Jos se toimii, älä koske!”. John Moubray suosittelikin etsimään menetelmiä tehdä laitteelle kuntotutkimuksia ilman, että sitä avataan. [11, s. 58–60.]



Kuva 8. Liika kunnossapito [12, s. 83].

Kuvassa 8 on havainnollistettu, kuinka kunnossapito altistaa laitteen vikaantumiselle jokaisen avaamisen ja korjaamisen jälkeen. Tämän vuoksi liikaa kunnossapitoa ja laitteen purkamista ja kasaamista pitäisi välttää ja sen sijaan etsiä vaihtoehtoja tarkastaa laite toimintakuntoisena ilman, että sitä puretaan ja tarkastuksen jälkeen kootaan. [12, s. 83.]

## 8.2 Vikaantumisen syyt

Amerikkalainen kunnossapitoasiantuntija Terry Wireman esitti, että teollisuudessa voidaan vähentää vikoja 40 % pitämällä toimintaympäristö siistinä. Perinteisesti vikaantumisen on ajateltu johtuvan laitteen ominaisuuksiin ja tekniikkaan liittyvistä seikoista, kuten huonosta suunnittelusta tai kestävydestä. Japanilaiset TPM:n kehittäjät ovat tutkineet perusteellisesti vikaantumisia ja heidän mukaan vikaantumiselle on olemassa viisi pääsyytä:

- Laitteita ei käytetä oikealla tavalla.
- Käyttäjien ja kunnossapitäjien ammattitaito on liian kapea.
- Laitteen ikääntymisen myötä esiintyvää toimintakyvyn heikkenemistä ei havaita tai korjata tai se hyväksytään.
- Laitteen käyttöolosuhteet eivät ole optimaaliset. Liika esimerkiksi saattaa aiheuttaa lämpenemistä.
- Laitteen suunnittelussa ei ole riittävästi huomioitu todellista käyttöä tai käyttöolosuhteita.



Vikojen oireiden tulkitseminen on usein vaikeaa, ja niitä pidetään vanhenemiseen luonnollisena liittyvinä ilmiöinä ja ne hyväksytään. Japanilaisten tutkimuksien mukaan vikaantumattomuuteen ei päästä teknisillä, laitteen rakenteisiin kohdistuvilla toimenpiteillä vaan puuttamalla edellä mainittuihin vikaantumisen syihin. [12, s. 85.]

### 8.3 Piilevät ja oireilevat viat

Piilevät ja oireilevat viat ovat kunnossapidon kannalta ongelmallisimpia, koska niiden löytäminen on vaikeaa ja niiden alkuperät ovat usein syvällä laitteen rakenteessa, käytössä tai sen asennuksessa. Nämä viat eivät pysäytä konetta vaan heikentävät sen tehokkuutta ja tuotteen laatua. Piilevien vikojen kohdalla reagoiva huoltostrategiaa on tehoton, koska siinä keskitytään vikojen ja häiriöiden korjaamiseen. Oireilevien vikojen poistamiseen tarvitaan proaktiivisia kunnossapitostrategioita. [11, s. 63.]

Vioista tulee oirehtivia kahdesta syystä: laitteisiin liittyvistä teknisistä ongelmista sekä organisaation ongelmista. Usein oirehtivat viat ovat luonteeltaan kroonisia, ja ne esiintyvät niin usein, että ne vaikuttavat ”normaaleilta”. Viat voivat johtua laitteen huonosta suunnittelusta ja toimimattomista ratkaisuista, puutteellisesta tarkastamisesta tai pölystä ja epäpuhtauksista. Organisaatiossa voi olla useita syitä tehottomaan reagointiin piilevien vikojen aiheuttamia häiriöitä vastaan. Häiriöiden havaitseminen on vaikeaa ja niiden juurisyiden paikallistaminen vaatii käyttö- ja huoltohenkilöstöltä osaamista ja laitteen syvällistä tuntemista. Vikoihin myös totutaan ja ne jätetään tietoisesti huomioimatta. [11, s. 64–65.]

### 8.4 Vaatimukset häiriöttömään toimintaan

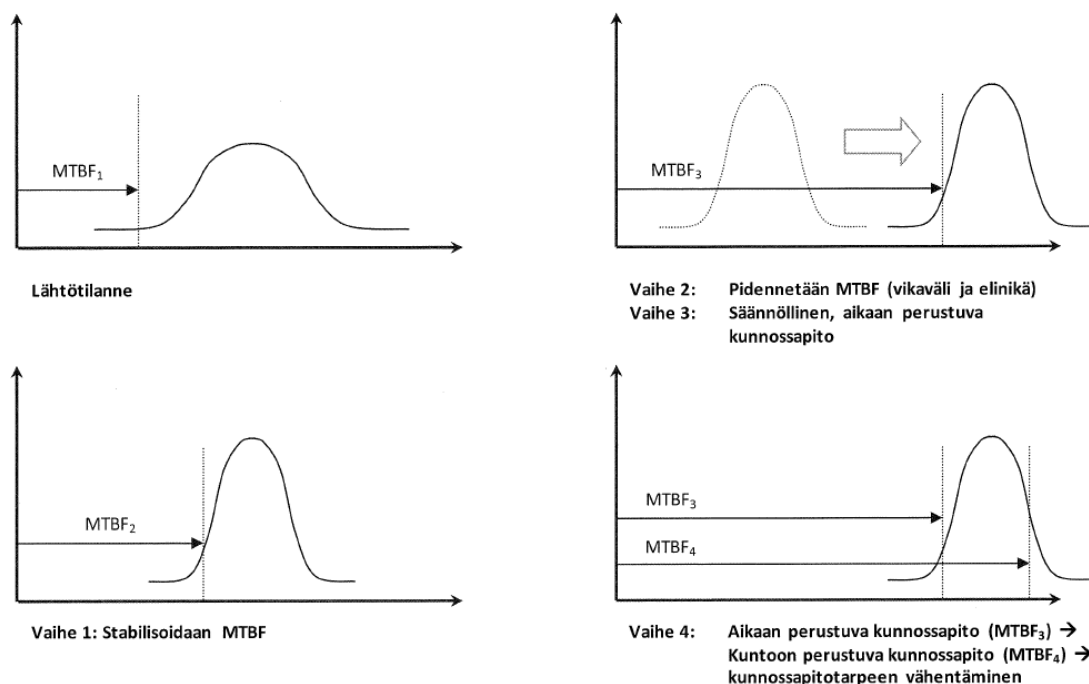
Pyrittäessä häiriöttömään toimintaan viat voidaan nähdä seurauksena muutoksesta, joita tapahtuu koneen käytön myötä ja sen ikääntyessä. Näiden muutosten havainnointi on lähtökohta pyrittäessä häiriöttömään toimintaan. Hyvin usein tämä havainnointi jää kuitenkin tekemättä. Syinä ovat sellaiset tekijät, kuten vajaatehoinen havainnointi ja kuluminen seuranta, kone on likainen ja sen ympäristöön on varastoitu ylimääräistä tavaraa tai koneen rakenne ei ole huoltoystävällinen. Toinen merkittävä syy on henkinen sopeutuminen, jolloin vikoihin totutaan ja ne hyväksytään osaksi normaalia toimintaa. Vikojen

vaikutus voidaan myös aliarvioida tai niitä ei pidetä tärkeänä muista kiireistä johtuen. [11, s. 65–68.]

On olemassa viisi eri tyyppiä välttämättömiä toimenpiteitä piilevien vikojen paljastamiseen ja tehokkaaseen hoitamiseen:

- Laitteen toimintakunnon ylläpitäminen. Pidetään kone puhtaana, oikein voideltuna sekä linjattuna.
- Oikeiden käyttöolosuhteiden noudattaminen. Pidetään koneen toimintaedellytykset kunnossa, kuten käyttölämpötilat, öljyjen ja paineilman puhdistus.
- Palauttaminen alkuperäiseen kuntoon; Vaihdetaan ja uusitaan osia tarpeen mukaan.
- Suunnitteluheikkouksien korjaaminen. Parannetaan koneen rakennetta tehtyjen havaintojen pohjalta. Koneita voidaan muuttaa käyttäjä- tai huoltoystävällisemmäksi tai korjata suoranaisia suunnitteluvirheitä.
- Käyttö- ja kunnossapitotaitojen kehittäminen. Usein vikaantumisen syy on tahaton väärinkäyttö, koska oikeaa tapaa ei tunneta.

Kuvassa 9 on kuvattu vaiheet pyrittäessä nollavikaantumiseen. Lähtötilanteessa ”kellokäyrä” on matala ja leveä, jolloin vikaantuminen on satunnaista. Ensimmäisessä vaiheessa pyritään stabiloimaan vikaantumisväli, jolloin ”kellokäyrästä” tulee korkea ja kapea. Toisessa vaiheessa pidennetään vikaantumisväliä ja laitteen elinaikaa. Viimeisessä vaiheessa koneen kunto on perustana toimenpiteille. [11, s.68.]



Kuva 9. Nollavikaantumisen pyrkiminen [11, s. 68].

#### Vikaantumisvälin stabilointi

Vikaantumisvälin stabilointi aloitetaan tutkimalla kone ja laatimalla tämän pohjalta vika- listat tehdyistä löydöksistä. Samalla kone puhdistetaan ja kunnostetaan uutta vastaa- vaan kuntoon. Tarkoituksena on määrittää koneelle oikea ja moitteeton toiminta, josta tulee vertailupohja, jonka pohjalta voidaan suorittaa oirehtivien vikojen sekä piilevien vi- kaantumisketjujen havaitseminen. Samalla pidetään huolta, että koneen perushuollot ja tarkastukset tehdään ajallaan ja mahdolliset havainnot ja normaalista poikkeavat ilmiöt kirjataan ylös. Tärkeänä osana käyttö- ja kunnossapito henkilöstön osaamista koneen käyttämisessä, säätämisessä ja tarkastamisessa pyritään parantamaan. [11, s. 69.]

#### Vikaantumisvälin pidentäminen

Koneen vikaantumisväliä pyritään pidentämään analysoimalla aikaisempia toimenpi- teitä, vikaantumisdataa ja muuta saatavilla olevaa dataa koneen toiminnasta. Koneen toimintaa ja luotettavuutta pyritään parantamaan kaikilta niiltä osin, jotka viittaavat liian suureen vikaantumisherkkyyteen. Tämä tapahtuu modernisoimalla ja parantamalla ko- netta tarpeellisilta osin poistamalla toimintaa häiritsevät viat. Koneen oikeaa käyttämistä

myös pyritään helpottamaan ja vastaavasti tekemään väärin asioiden tekeminen vaikeammaksi. [11, s. 69–70.]

Laiteen palauttaminen alkuperäistä vastaavaan kuntoon

Koneen kuntoa seurataan säännöllisesti mittaamalla, testaamalla, tarkastamalla ja havainnoimalla. Näiden perusteella suunnitellaan ja toteutetaan tarvittavat vaihto- ja uusimistöimenpiteet. Koneen käytönaikaista tehokkuutta ja siinä ilmeneviä poikkeuksia myös seurataan. Mikäli kone vikaantuu, vika analysoidaan ja selvitetään mitä voitaisiin tehdä, että vika ei enää toistuisi. Käyttö- ja kunnossapitohenkilöstön on tärkeää kehittää omaa osaamistaan jatkuvasti vikojen ja oireiden havaitsemisessa. [11, s. 70.]

Laitteen elinajan arvioiminen

Viimeisessä vaiheessa vikaantuminen on hallittua ja odottamaton vikaantuminen on saatu suurimmaksi osaksi poistettua. Tarkastusten, analyysien ja havainnoinnin perusteella saadun tiedon pohjalta voidaan laatia eri komponenteille elinaikalaskelmat, jonka perusteella elinkaarensa päässä olevia komponentteja voidaan alkaa seuraamaan ja suunnittelemaan niiden korvaamista uudella. [11, s. 70.]

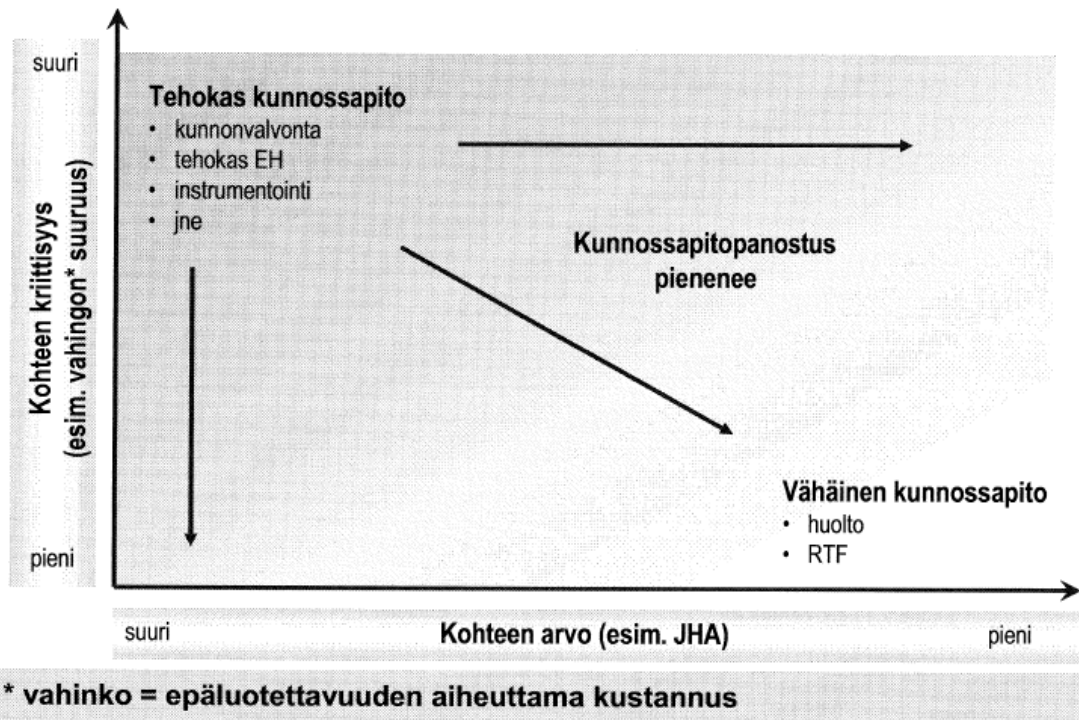
## 9 Kunnossapitostrategian luominen

Kunnossapidon alueelle on kehitetty runsaasti erilaisia toimintakehyksiä sekä filosofioita, joiden avulla kunnossapitotoimintaa pyritään kuvaamaan. Usein näiden toimintamallien taustalla on konsulttiyritysten tarve erottua toisistaan mutta osaltaan myös erilaisten teollisuudenalojen perusteltu tarve painottaa omalle toimintaympäristölleen tärkeitä asioita. [13, s. 69.] Merkittävimpiä viime vuosikymmenien aikana kehitetyistä viitekehysistä ovat

- laatujohtamiseen pohjautuvat menetelmät, kuten ISO 9001, TQM, LEAN / Six Sigma
- logistiikkapohjaiset menetelmät
- TPM (Total Productive Maintenance)
- RCM (Reliability Centered Maintenance)
- tuotanto-omaisuuden hallinta (Asset Management). [13, s. 70.]

Uusimpia toimintamalleja ja menetelmiä pidetään usein vanhoja parempina ja niissä nähdään korostetusti vain hyviä puolia niiden sisältämien haasteiden sijaan. Kuitenkin millään yksittäisellä menetelmällä ei ole kaikkia etuja, ja jokainen menetelmä sisältää myös huonoja puolia, jotka pitää osata ottaa huomioon. Jokaisen menetelmän hyöty vaihtelee riippuen käyttäjäorganisaatiosta ja siitä, kuinka hyvin kyseistä menetelmää ja filosofiaa osataan toteuttaa ja hyödyntää organisaatiossa. Erityisen suuri vaikutus on ihmisten käyttäytymisellä ja asennoitumisella. [13, s. 69.]

Jokaisessa yrityksessä ja laitoksessa on käytössä jokin kunnossapitofilosofia, vaikka asiaa ei olisi mietitty lainkaan. Tällaisessa tilanteessa kysymyksessä on yleensä kokonaisvaltainen korjaavan kunnossapidon filosofia. [13, s. 69.] Kunnossapitofilosofian valintaan ei ole olemassa ainoaa oikeaa vaihtoehtoa vaan se on valikoitava huomioiden jokaisen prosessin tai laitteen kriittisyys ja arvo sekä organisaation ja henkilöstön kyvykyys toteuttaa kyseistä kunnossapitofilosofiaa. Tarpeeton kunnossapito aiheuttaa ylimääräisiä kustannuksia ja kunnossapidon toimintamenetelmää määriteltäessä tulisi noudattaa kuvan 10 periaatteita.



Kuva 10. Kunnossapitolajien valinta [12, s. 117].

## 10 Työn toteutus

Insinööriyön toteutus aloitettiin keräämällä tietoa testauslaitteistojen vikaantumisen nykytilanteesta sekä mahdollisista vikaantumismekanismeista. Testaustietokannan sekä vikaraportoinnin tilastien perusteella tuotteiden testaaminen keskeytyi useammin testauslaitteistosta tai testimenetelmästä johtuvaan vikaan kuin viallisesta testattavasta tuotteesta johtuvaan vikaan. Myös tuotteen virheellinen testattavan tuotteen kytkeminen testauslaitteistoon aiheutti ylimääräisiä keskeytyksiä tuotteiden testaamiseen.

HiPot-testauslaitteiston kompleksisuudesta johtuen selvitystyö painottui enemmän kyseiseen testauslaitteistoon. Vaikka HiPot-testi on ajallisesti merkittävästi lyhempi kuin Burn-in testaus, siinä on huomattavasti enemmän eri vaiheita sekä testauslaitteistossa on sen monimutkaisuudesta johtuen enemmän vikaantumismekanismeja.

## 10.1 Vika- ja vaikutusanalyysi

Insinööriyön aloitettiin tekemällä testauslaitteistoille vika- ja vaikutusanalyysi. Analyysin tarkoituksena oli selvittää ja listata, millaisia tiedostettuja ja tiedostamattomia vikaantumismekanismia testauslaitteistoihin liittyy. Vika- ja vaikutusanalyysi rajattiin käsittämään testauslaitteistoissa mekaanisella tasolla tapahtuvat toiminnot, joten analyysistä rajattiin pois ohjelmistoihin ja testisekvensseihin liittyvät virhetilanteet.

Vika- ja vaikutusanalyysi noudatti FMEA:lle (Failure Mode and Effects Analysis) yleisesti käytettävää mallia, jossa prosessi käydään läpi vaihe vaiheelta listaten kaikki toiminnalliset vikaantumismahdollisuudet ja selvittäen, kuinka virhetilanne kyseisessä vaiheessa vaikuttaa prosessiin ja kuinka hyvin se on havaittavissa.

Vika- ja vaikutusanalyysi toteutettiin noudattaen testausohjelman käyttämän testisekvenssin testiosiojakoa. Vika- ja vaikutusanalyysissä käytiin läpi ja listattiin allekkain testiosioittain jokainen testiosioissa fyysisesti tapahtuva ohjaus. Ohjauksen haluttu tila tarkistettiin testisekvenssistä. Piirikaavioiden avulla selvitettiin, kuinka virhetilanne yksittäisen ohjauksen osalta vaikuttaa ja havaitseeko testilaitteisto virhetilanteen automaattisesti.

Analyysin lopputuloksena kaikki ohjauksen virhetilanteet luokiteltiin neljään luokkaan:

- Vaarallinen, aiheuttaa vahinkoa tuotteelle tai testauslaitteistolle
- Vaarallinen, ei havaita
- Turvallinen, ei havaita
- Turvallinen, havaitaan

Vika- ja vaikutusanalyysin lopputuloksena testauslaitteistoille saatiin luotua yksityiskohdainen, komponenttitasoinen kriittisyysluokittelu, jonka perusteella voitiin määritellä, mihin komponentteihin parannus-, huolto- ja kunnossapitotoimenpiteitä erityisesti kannattaa kohdistaa. Analyysin aikana selvitettiin vikaantumistavat, joita ei normaaliolosuhteissa voida varmuudella havaita. Tästä johtuen nämä viat voivat jäädä piileviksi ja samalla aiheuttaa tuotteen puutteellisen testaamisen lisäksi tuotteen tai testauslaitteiston heikentämisen sekä vaurioittamisen. Toiminnan kannalta kriittisimpien vikamallien estä-

miseksi pyrittiin löytämään uudelleen suunnittelun avulla korjaava ratkaisu, jolla kriittisyysluokitusta saataisiin alemmalle tasolle. Prosessin läpikäyminen vaihe vaiheelta paljasti myös vikaantumismekanismeja, joita ei ollut aikaisemmin havaittu tai todettu olevan.

Vika- ja vaikutusanalyysin yhteydessä kaikista kriittisistä ohjauksista laadittiin myös taulukko, josta selviää yksittäisen testausvirtapiirin komponentin ohjaukseen vaikuttavat apukomponentit, kuten optoreleet, releet sekä apukärjet. Lisäksi mittausvirtapiirin komponentit listattiin ohjauksien mukaan testiosioittain, jolloin testisekvenssin aikana tehtyjen ohjauksien määrä komponenteittain oli helpompi laskea.

## 10.2 Vikahistorian analysoiminen

Nykytilannetta analysoitiin myös tutkimalla testauslaitteistojen vikahistoriaa. Koska testauslaitteistojen korjauksista tai vaihdetuista komponenteista ei aikaisemmin ole pidetty kirjaa, vikahistorian läpikäyminen perustui käyttöhenkilöstön ja käytöstävastaavan henkilön kokemuksiin testauslaitteistojen vikaantumistavoista.

Yleisimmin vikaantuviksi komponenteiksi todettiin testattavan tuotteen kytkennässä käytettävät kaapelit ja liittimet. Kaapeleiden ja liittimien oli havaittu voivan vikaantua myös niin, että niiden vikaantumista ei havaita kytkentävaiheessa. Kaapelin vaippa saattaa pitää kaapelin koossa, vaikka johdin on katkennut kaapelin sisältä. Myös liittimien sisällä olevat koskettimet voivat vikaantua niin, että sitä ei havaita kytkentävaiheessa. Tämä voi johtaa virhetulkintaan vian syystä ja usein testattava tuote joutuukin epäilyksen kohteeksi ennen, kuin testilaitteistoa osataan epäillä syylliseksi.

Ilmansuodattimien puhdistamista ja vaihtamista määräajoin pidettiin erityisen tärkeänä huoltotoimenpiteenä. Testauslaitteistojen läpi kulkevan suuren ilmamäärän mukana suodattimiin kertyy paljon pölyä, joka vaikuttaa ilman virtaamiseen ja sitä kautta laitteistojen lämpiämiseen. Lämpötilan vaikutus sähkölaitteistojen eliniälle on merkittävä, ja pienikin lämpötilan nouseminen lyhentää laitteiston elinikää huomattavasti.

Yksittäisistä komponenteista releet, optoreleet ja 230VAC/24VDC-virtalähteet ovat useimmiten vikaantuvia kohteita. Kontaktorien osalta vikaantuminen on ollut harvinaisempaa, ja vain muutamia kontakteja on vaihdettu työn kohteena olevien testauslait-



teistojen käyttöhistorian aikana. Valmistajan datalehden mukaan kontaktoreille luvataan-kin 10 miljoonan kytkennän elinkaari, joka ei täyty testauslaitteistojen käyttöön aikana. Osittain testauskäytössä jänniterasitus kontaktoreille on kuitenkin suurempi kuin valmistajan lupaama suurin sallittu käyttöjännite. Tämä jättää tilaa oirehtivalle vikaantumiselle, jolla voi olla vaikutusta mittatuloksiin tai oireille, jotka ilmestyvät satunnaisesti.

### 10.3 HiPot-testilaitteiston verifiointi

Tuotantotestausmittadatan perusteella tehdyn tutkimuksen perusteella havaittiin yhden HiPot-testauslaitteiston eristysvastusmitta-arvojen eroavan kahden muun testauslaitteiston vastaavista arvoista. Syyn selvittämiseksi laadittiin mittaussuunnitelma, jolla oli tarkoitus paikallistaa ilmiön aiheuttaja korjaavien toimenpiteiden mahdollistamiseksi.

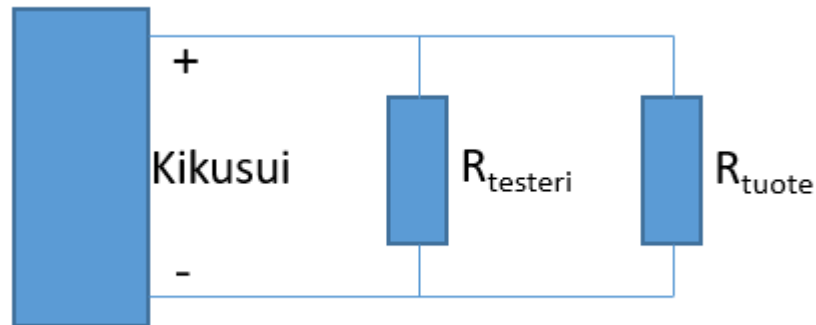
Vaikka ero testauslaitteistojen sisäisissä eristysvastusarvoissa ei voinut aiheuttaa virheellistä tulkintaa testattavan tuotteen vaatimuksenmukaisuudesta, vaikeutti se testausrajojen asettelemista sekä mittatulosten tilastollista tulkintaa. Toisaalta on myös tärkeää tuntea mittausprosessin kyvykkyys ja sen aiheuttama virhe tulokseen sekä pienentää hajontaa testauslaitteistojen tulosten välillä. Jos mittaus aiheuttaa tulokseen vaihtelua, saatetaan pahimmillaan hylätä hyvät yksilöt ja hyväksyä huonot yksilöt.

Testilaitteistojen sisäisien eristysvastusarvojen määrittäminen tehtiin suorittamalla testilaitteistolla 20 peräkkäistä eristysvastustestiä vakioidulla kalibroituvastuksella. Mittaukset suoritettiin ensin Kikusui-mittalaitteen verifiointiseksi suoraan Kikusuin etupaneelista jättäen HiPot-testauslaitteiston virtapiiri pois mittauksesta. Tämän jälkeen peräkkäiset eristysvastustestit suoritettiin 1 Gohm:n ja 100 Gohm:n vastuksilla HiPot-laitteiston virtapiirin ollessa mukana mittauksessa.

Testin suorittamiseen käytettiin yksilöllistä tarkoitusta varten laadittua testisekvenssiä, joka ajoi halutun määrän eristysvastustestejä läpi automaattisesti tallentaen mittatulokset tietokantaan yksilöllisesti testilaitteistoittain nimettyinä. Tällä tavalla voitiin myös manuaalista ohjausta paremmin varmistua, että testi suoritetaan joka kerta samalla tavalla.

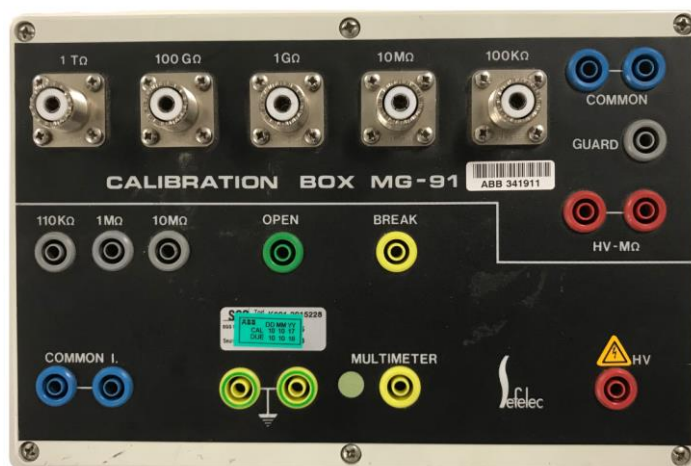
Mitattava kappale sekä HiPot-testauslaitteisto muodostavat eristysvastuksen näkökulmasta kaksi rinnan kytkettyä vastusta. Kuvassa 11 on esitetty periaate mittaustapahtu-

malle. HiPot-testauslaitteisto sisältää Kikusui TOS9200-eristysvastus- ja jännitekoeterin, josta testausjännite kuljetetaan testattavaan tuotteeseen HiPot-testauslaitteiston sisäisten kontaktorien ja kaapelointien välityksellä. Nämä aiheuttavat omalta osaltaan vuotovirtaa, joka vaikuttaa eristysvastustestin kokonaisarvoon.



Kuva 11. Mittauskytkentä.

Testin suorittamiseen käytettiin kuvan 12 kalibroituvastusta MG-91, jossa oli valittavissa erisuuruisia kiinteitä vastusarvoja kalibrointikäyttöön. Koska vastusarvoltaan pienempi virtatie määrittää lähes kokonaan kokonaisvastuksen suuruuden, voitiin testilaitteiston osuus määrittää käyttämällä mitattavana kohteena merkittävästi testilaitteiston eristysvastusta suurempaa vastusarvoa. Kalibrointiyksikön kiinteistä vastusarvoista valittiin käyttöön 100 Gohm:n vastus.



Kuva 12. Kalibroituvastus.

## 11 Tulokset

Vika- ja vaikutusanalyysin, vikahistorian ja testaustietokannasta kerätyn datan perusteella testauslaitteistoille luotiin kunnossapito-ohjelma. Liitteessä 1 on lueteltu esimerkinomaisesti HiPot-testauslaitteistolle tehtäviä huoltotoimenpiteitä. Liitteessä 2 on esitetty Burn-in-testauslaitteiston huoltokohteita. Ohjelmassa määritellään suositellut kuukausittain, kvartaaleittain ja vuosittain tehtävät huoltotoimenpiteet. Huolto-ohjelmassa on mukana myös joitakin harvemmin suoritettavia komponenttien vaihtamisia. Kunnossapitoon kehitetyistä filosofioista tai viitekehyksistä ei valittu toteutettavaksi puhtaasti mitään olemassa olevaa mallia. Insinööriyössä perehdyttiin eri huoltofilosofioiden ominaisuuksiin ja niistä poimittiin parhaita puolia ja ajatuksia käyttöön testauslaitteistojen kunnossapidossa. Tärkeiksi periaatteiksi kunnossapito-ohjelmaa laadittaessa ja tuotantotestauksen luotettavuuden parantamisessa nousi esimerkiksi uudelleen suunnittelu laitteen rakenteen parantamiseksi, puhtaanapidon parantaminen, vikojen havainnointi purkamatta ja avaamatta laitetta sekä henkilöstön osaamisen lisääminen huoltojen suorittamisessa.

Vika- ja vaikutusanalyysin perusteella havaittiin kohteita, joissa uudelleen suunnittelu on taloudellisesti ja toiminnallisesti järkevin vaihtoehto laitteiston luotettavuuden ja kunnossapidettävyyden parantamiseksi. Tällaisia vika- ja vaikutusanalyysin paljastamia kohteita olivat HiPot-testauslaitteiston eristystestien aikana käytettyjen kontaktorien tilatiedon valvonta ja Burn-in-testauslaitteiston jäähdytyspeltien uudelleen suunnittelu.

HiPot-testauslaitteistossa on useita kontaktoreja, joiden tilaa ei valvota testin aikana. Kontaktorin toimimattomuutta ei myöskään kaikissa tapauksissa havaita, minkä seurauksena voidaan aiheuttaa vahinkoa testattavalle tuotteelle tai testauslaitteistolle. Kontaktorin toimimattomuus voi johtua viallisen kontaktorin lisäksi sitä ohjaavan releen ja optoreleen vikaantumista. Huoltojen yhteydessä tehtävän kontaktorin toiminnan tarkastamisen lisäämisen sijaan paremmaksi vaihtoehdoksi todettiin apukoskettimien lisäämisen kontaktoreihin sekä tilatiedon valvonnan testiä ohjaavan ohjelmiston toimesta.

Burn-in-testauslaitteiston useat testiosiot perustuvat taajuusmuuttajamoduulilta mitattaviin lämpötiloihin ja niiden keskinäisiin vertailuihin. Testikammioiden lämpötilaa säätävien säätöpeltien tulisi toimia oikein, että olosuhteet rinnakkain ajettavien moduulien kesken pysyisivät mahdollisimman vertailukelpoisina. Säätöpeltien havaittiin toimivan välillä epämääräisesti ja aiheuttavan lämpötilaeroista johtuvia keskeytyksiä testeihin. Tarkas-

telun seurauksena havaittiin, että säätöpeltien valmistajan määrittelemä ylin sallittu käyttölämpötila oli matalampi kuin testauslaitteistojen lämpöolosuhde. Tästä johtuen säätöpellit alkoivat oirehtimaan määrätyn käyttöajan jälkeen. Huollon ja määrävälein suoritettavan säätöpellin vaihtamisen sijaan, pelti päätettiin korvata uudella säätöpeltimallilla, jossa lämpökestoisuus on riittävä testauslaitteiston käyttöolosuhteisiin.

Tietokannasta haetun datan perusteella Burn-in-testauslaitteistojen virranmittauksien välillä havaittiin olevan vaihtelua. Tämän todettiin aiheutuvan virranmittauksessa käytettävän vastuksen ominaisuuksista, joten mittauksissa käytettävät vastukset muutettiin tarkemmiksi ja kaikissa testauslaitteistoissa samanlaisiksi. Tällä toimenpiteellä virranmittauksen hajontaa saatiin pienennettyä merkittävästi.

Tietokannasta saatavan datan perusteella voidaan tehdä päätelmiä komponenttien kunnosta sekä niissä käytön myötä tapahtuvista muutoksista. Tämä havaittiin toimivaksi menetelmäksi tehdä testauslaitteistojen kunnonvalvontaa avaamatta ja purkamatta laitetta. Useiden komponenttien osalta määrääjain tehtävä vaihtaminen altistaisi testauslaitteiston uusille vioille ja aiheuttaisi testaustuloksiin tarpeetonta vaihtelua. Tällaisia komponentteja ovat esimerkiksi kontaktorit. Näiden komponenttien osalta, vaihtamisen sijaan komponenttien kuntoa päätettiin tarkkailla seuraamalla trendejä ja hajontaa mittatuloksissa sekä vertailla tuloksia testauslaitteistojen välillä. Vertailun helpottamiseksi tietokantahakuihin tehdään Excel-käyttöliittymä, jolla haluttuja hakuja ja vertailuja voidaan helposti tehdä automaattiseksi sekä piirtää havainnoinnin parantamiseksi tuloksista kuvaajia. Tuloksiin voidaan myös lisätä trendiviivoja sekä määrittää hajontaa kuvaavia lukuja.

Kiinteän vaihtovälin mukaan vaihdettaviksi komponenteiksi määritettiin esimerkiksi kytkennöissä käytettävät liittimet sekä niiden johtimet ja Burn-in-testauslaitteistossa virranmittauksessa käytettävät virtamuuntimet. Vikahistorian perusteella testattavan tuotteen kytkemisessä testauslaitteistoon käytettävien kaapeleiden kunnon havaittiin aiheuttavan ajoittain oirehtivia vikoja. Kyseiset kaapelit ja liittimet kuluvat nopeasti käytön myötä. Myös virtamuuntimista johtuvien vikojen määrän havaittiin kasvavan ajan myötä. Kyseisille komponenteille voitiin vikaistorian perusteella määrittää aikaväli, jonka jälkeen häiriöt alkavat lisääntymään ja komponentin vaihtaminen uuteen on järkevää. Myös verrattain edullinen hinta ja helppo vaihdettavuus puoltavat osan vaihtamista määrävälein.

Huolto-ohjelmaan tuli myös mukaan erinäisien muistien varmistuksessa käytettävien paristojen vaihtaminen määräajoin. Tällaisia ovat esimerkiksi ohjelmoitavan logiikan sekä taajuusmuuttajan ohjauskortin muistin varmennuksessa käytettävät paristot.

Useimpien komponenttien osalta parhaaksi huoltostrategiaksi muodostui RTF eli komponentin vaihtaminen vikaantumisen jälkeen. Tämä on mahdollista niiden komponenttien osalta, joiden vikaantuminen havaitaan varmuudella eikä vikaantumisesta aiheudu haittaa turvallisuudelle tai toiminnan laadulle.

Vioista toipumista pyrittiin nopeuttamaan luomalla varaosille varaosavarasto, josta on nopeasti saatavissa kaikki korjauksissa tarvittavat varaosat. Varaosien minimimäärien määrittäminen helpottaa varaston ylläpitoa ja luo sille selkeät pelisäännöt. Sekä HiPot että Burn-in-testauslaitteistoissa käytetään paljon samoja komponentteja, joten varaosavarasto laadittiin yhteiseksi molemmille testauslaitteistoille. Tällä tavalla varaosavaraston kokoa voitiin pienentää.

Useissa kohteissa puhtaanapitoa lisättiin merkittävästi. Puhtaanapidolla onkin merkittävä rooli kunnossapidossa. Huoltokohteen säännöllisen puhdistamisen yhteydessä on mahdollista havainnoida kohteen kuntoa myös yleisemmin. Puhtaanapito on siis osa kunnonvalvontaa. Testauslaitteistojen paloilmamaisimien likaisuudesta kertovan indeksiluvun tarkkailu ja tarvittaessa paloilmamaisimen puhdistaminen otettiin mukaan huolto-ohjelmaan. Paloilmamaisimien vaihtamisesta ja puhdistamisesta ei ollut olemassa ohjetta, joten ohjeen luominen ja käyttöhenkilöstön kouluttaminen kyseisiin toimenpiteisiin on tehtävä ennen kuin huolto-ohjelma voidaan täydellisesti implementoida. Myös useiden muiden huoltotoimenpiteiden osalta ohjeistus on puutteellinen ja vaatii kehittämistä.

## **12 Yhteenveto**

Parantuneen huolto- ja kunnossapitotoiminnan lopullisena päämääränä oli vähentää testauslaitteistoista johtuvia käyttökeskeytyksiä, lisätä testauslaitteistojen turvallisuutta sekä myös parantaa testattavana tuotteen laatua ja testin kattavuutta niin, että koestettavaa tuotetta ei rasiteta tarpeettomasti testin aikana. Tavoitteeseen pääsemiseksi testauslaitteistoille määriteltiin huolto-ohjelmat, jotka ohjaavat ja auttavat suorittamaan tes-

tauslaitteistojen huollot organisoidusti ja järjestelmällisesti. Käyttökatkoksien lyhentämiseksi testauslaitteistojen varaosat listattiin kokonaisuudeksi, jonka perusteella tarvittava varaosavarasto voidaan perustaa koestamon yhteyteen.

Insinööriyöhön käytetystä ajasti merkittävä osa kului vika- ja vaikutusanalyysien tekemiseen sekä oirehtivien vikojen juurisyiden selvittämiseen vika- ja testausdatan perusteella. Vika- ja vaikutusanalyysin tarkoituksena oli selvittää kriittisimmät komponentit, joihin huoltoa ja tarkastuksia tulisi erityisesti kohdentaa. Vikahistorian analysoinnilla pyrittiin selvittämään yleisimmät vikatapaukset sekä syyt, jotka johtavat niihin. Tämän toivottiin auttavan komponenttien vaihtovälin selvittämisessä. Kerätyn datan perusteella testauslaitteistoihin myös löydettiin parannusideoita, joiden toteuttaminen omalta osaltaan vie laitteistojen luotettavuutta parempaan suuntaan. Jo insinööriyön aikana toteutettujen parannustoimenpiteiden vaikutus on ollut havaittavissa luotettavuuden parantumisena. Parantuneen huoltotoiminnan vaikutukset näkyvät vasta pidemmällä aikavälillä.

Huoltotoiminnan kehittämiseksi tulevaisuudessa käyttöhenkilöstön kykyä havaita muutoksia testauslaitteistojen toiminnassa pitäisi entisestään kehittää. Käyttöhenkilöstö on tärkeässä osassa muutoksien havaitsemisessa ja oirehtivien vikojen paljastamisessa. Vastaavasti yhtä tärkeää on kehittää organisaation kykyä tutkia näitä löydöksiä ja paljastaa juurisyitä niiden taustalla. Tähän tarkoitukseen tulisi kehittää ja ottaa käyttöön uusia mittauksiin perustuvia menetelmiä. Erityisesti menetelmiä kontaktorien kunnonvalvontaan pitäisi kehittää. Tarkoituksen mukaisia menetelmiä voisivat olla lämpökamerakuvaus ja ylimenovastuksen mittaaminen. Näitä menetelmiä varten hyväksymisrajojen määrittäminen vaatisi lisäselvityksiä.

Tulevaisuudessa testauslaitteistojen itsediagnostiikkaa kannattaisi mahdollisuuksien mukaan lisätä. Tämä helpottaisi käyttöhenkilöstön työtä ja parantaisi laitteistojen kunnon havainnointia. Myös vakioidun testauskappaleen rakentaminen määräajoin tehtävää testauslaitteistojen verifiointia varten olisi hyödyllistä. Säännöllinen verifiointi auttaisi havainnoimaan ajan kuluessa testauslaitteistoissa tapahtuvia muutoksia.

## Lähteet

- 1 ABB Group. Verkkoaineisto. Wikipedia. [https://en.wikipedia.org/wiki/ABB\\_Group](https://en.wikipedia.org/wiki/ABB_Group). Luettu 18.3.2018
- 2 ABB historia. Verkkoaineisto. ABB Oy. <http://new.abb.com/fi/abb-lyhyesti/historia>. Luettu 17.3.2018.
- 3 Pitäjänmäki muistelee. Verkkoaineisto. Pitäjänmäki seura. [http://www.helsinki.fi/kansalaismuisti/pitajanmaki/elinkeino/strombergin\\_tehdas.html](http://www.helsinki.fi/kansalaismuisti/pitajanmaki/elinkeino/strombergin_tehdas.html). Luettu 18.3.2018.
- 4 Paul Walde and Conrad U. Brunner. 2011. Verkkoaineisto. Energy-Efficiency Policy Opportunities for Electric Motor-Driven Systems. The International Energy Agency. [https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/EE\\_for\\_ElectricSystems.pdf](https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/EE_for_ElectricSystems.pdf). Luettu 20.3.2018.
- 5 ABB Oy. Tekninen opas nro 8. Nopeussäädettyjen käyttöjen opas.
- 6 Käyttäjän opas. Verkkoaineisto. ABB Oy. [https://library.e.abb.com/public/ff28b780181a16c3c1257850004ac207/FI\\_ACS150\\_UM\\_C\\_screen\\_res.pdf](https://library.e.abb.com/public/ff28b780181a16c3c1257850004ac207/FI_ACS150_UM_C_screen_res.pdf). Luettu 13.3.2018.
- 7 D1-2012. Käsikirja rakennusten sähköasennuksista.
- 8 Finlex kotisivut. Verkkoaineisto. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2016/20161135#Pidp451452784>. Luettu 1.4.2018.
- 9 Hu-Chen Liu. 2016. FMEA Using Uncertainty Theories and MCDM Methods
- 10 Jorma Järviö. 2012. Kunnossapitokoulu 101. Promaint Intra.
- 11 Kunnossapito, kunnossapidon julkaisusarja, n:o 10. 2011. Kunnossapitoyhdistys ry
- 12 Kunnossapito, Tuotanto-omaisuuden hoitaminen. 2017. Kunnossapitoyhdistys ry
- 13 Kuntoon perustuva kunnossapito. 2009. Kunnossapitoyhdistys Promaint ry

## HiPot-testauslaitteiston huoltokohteet

Object	Action	Frequency	Comment
Test cabinet	Cleaning	1 month	
AC fast connector	Cleaning/Check/Greasing	1 month	
PC cabinet	Cleaning	1 month	
Computer	Cleaning	1 month	
Computer	Air filter cleaning	1 month	
DC-power supply Keysight N8957A	Cleaning	1 month	
Data logger Keysight 34970A	Cleaning	1 month	
Withstanding voltage/insulation resistance tester Kikusui TOS9200/TOS5302	Cleaning	1 month	
PC cabinet cooling fan filter	Cleaning	1 month	
Optical fibers	Change	1 month	
Grounding cable continuity	Measurement	1 month	
DC-supply cable continuity	Measurement	1 month	
DC-voltage middle point measurement cable continuity	Measurement	1 month	
Connector X52 cable continuity	Measurement	1 month	
Connector X53 cable continuity	Measurement	1 month	
Light tower	Check	1 month	Part of the maintenance sequence
Door lock	Check	1 month	Part of the maintenance sequence
Safe circuit / safety relay	Check	1 month	
PC cabinet cooling fan	Check	1 month	
Testing circuit contactors	Check	1 month	Part of the maintenance sequence
Testing cabinet light	Check	1 month	
PC cabinet light	Check	1 month	
Executing the maintenance sequence	Check	1 month	
Connector X52	Change	3 months	
Connector X53	Change	3 months	
Connector X50	Change	3 months	
DC-supply connectors	Change	3 months	
DC-voltage middle point measurement connectors	Change	3 months	
DC-voltage and middle point measurement cable	Change	3 months	
Computer	Air filter change	3 months	
PC cabinet cooling fan filter	Change	3 months	
Nokeval external DC-measurement panel	Check	3 months	
DC-power supply Keysight N8957A	Calibrating	1 year	
Data logger Keysight 34970A	Calibrating	1 year	
Withstanding voltage/insulation resistance tester Kikusui TOS9200/TOS5302	Calibrating	1 year	
Testing motor	Measurements	1 year	
Electrical connections	Check/Tightening	1 year	
Control board BCU-02	Backup battery change	2 years	



## Burn-in-testauslaitteiston huoltokohteet

Object	Action	Frequency	Comment
<b>PC cabinet</b>			
Computer	Air filter cleaning	1 month	
Data logger Keysight 34970A	Cleaning	1 month	
PC Cabinet cleaning	Cleaning	1 month	
Air filter on the PC cabinet door	Cleaning /Change if needed	1 month	
<b>ACU Cabinet</b>			
Air filter at the door	Cleaning/Change if needed	1 month	
<b>DSU Supply Cabinet</b>			
Air filter at the door	Cleaning	1 month	
<b>Drive Units</b>			
DC connection bolts and nuts	Change	1 month	
Optical fibers	Check	1 month	
Optical fibers	Change	1 month	
AC fast connector	Check/Greasing/Cleaning	1 month	
Cabinet cleaning with a vacuum cleaner	Cleaning	1 month	
Door lock signal light	Check	1 month	
X50 connector	Check	1 month	
Damper	Check opening and closing	1 month	Part of the maintenance sequence
Door gasget	Check/Change if needed	1 month	
Cable insulation	Check/Change if needed	1 month	
Door locks	Check	1 month	
<b>Choke Cabinets</b>			
Incoming air filter	Cleaning	1 month	
Choke module cooling fan	Check	1 month	Part of the maintenance sequence
<b>Common targets</b>			
Light tower	Check	1 month	Part of the maintenance sequence
<b>ACU Cabinet</b>			
Cleaning - remember safety	Cleaning	3 months	
<b>ICU Cabinet</b>			
Air filter at the door	Check/Cleaning	3 months	
Switch fuse Q3 auxiliary contact	Check/tightening	3 months	
Switch fuse Q3	Check/Change if needed	3 months	
<b>DSU Supply Cabinet</b>			
Air filter at the door	Change	3 months	
<b>Drive Units</b>			
Fire detector cleaning	Cleaning	3 months	
Doors and hinges	Check/Change if needed	3 months	
X50 connector	Change	3 months	
Sound insulation	Check/Change if needed	3 months	

<b>Connection Unit</b>		
Cabinet check and cleaning	Check/Cleaning	3 months
<b>Choke Cabinets</b>		
Fire detector cleaning	Cleaning	3 months
Cabinet cleaning	Cleaning	3 months
Incoming air filter	Change	3 months
<b>PC cabinet</b>		
Computer	Air filter change	1 year
Data logger Keysight 34970A	Calibrating	1 year
<b>ACU Cabinet</b>		
Electrical connections	Check/tightening	1 year
<b>ICU Cabinet</b>		
Complete cleaning of the cabinet	Check/Cleaning	1 year
Electrical connections	Check/Tightening	1 year
<b>DSU Supply Cabinet</b>		
Complete cleaning of the cabinet	Check/Cleaning	1 Year
Bussbar connections	Check/Tightening	1 Year
<b>Drive Units</b>		
Electrical connections	Check/Tightening	1 year
<b>Choke Cabinets</b>		
Bussbar connection	Check/Tightening	1 year
Contactors cable connections	Check/Tightening	1 year
<b>Common targets</b>		
Cabinet back side	Cleaning/Check/Tightening	1 year
Main grounding	Check	1 year
Outer shell of the tester	Cleaning	1 year
DC-voltage measurement	Calibration	1 year
<b>PC cabinet</b>		
Control Board BCU-02	Battery change	2 years
<b>ICU Cabinet</b>		
Switch fuse Q3 auxiliary contact	Change	2 years
<b>DSU Supply Cabinet</b>		
Control Board BCU-02	Battery change	2 years
<b>Drive Units</b>		
Current transducers	Change	5 years